Apprendre l'électronique en partant de zéro

Niveau 1

Apprendre
l'électronique
en partant de zéro

Niveau 1

Cet ouvrage est une compilation du Cours d'Électronique en Partant de Zéro parus dans les numéros 1 à 28 de la revue ELECTRONIQUE et Loisirs magazine.

Apprendre l'électronique en partant de zéro

En guise d'introduction

Si vous considérez qu'il n'est possible d'apprendre l'électronique qu'en fréquentant un Lycée Technique, vous découvrirez en suivant ce cours qu'il est aussi possible de l'apprendre chez soi, à n'importe quel âge, car c'est très loin d'être aussi difficile que beaucoup le prétendent encore.

Tout d'abord, nous parlerons des concepts de base de l'électricité, puis nous apprendrons à reconnaître tous les composants électroniques, à déchiffrer les symboles utilisés dans les schémas électriques, et avec des exercices pratiques simples et amusants, nous vous ferons entrer dans le monde fascinant de l'électronique.

Nous sommes certains que ce cours sera très apprécié des jeunes autodidactes, des étudiants ainsi que des enseignants, qui découvriront que l'électronique peut aussi s'expliquer de façon compréhensible, avec un langage plus simple que celui utilisé dans les livres scolaires.

En suivant nos indications, vous aurez la grande satisfaction de constater que, même en partant de zéro, vous réussirez à monter des amplificateurs hi-fi, des alimentations stabilisés, des horloges digitales, des instruments de mesure mais aussi des émetteurs qui fonctionneront parfaitement, comme s'ils avaient été montés par des techniciens professionnels.

Aux jeunes et aux moins jeunes qui démarrent à zéro, nous souhaitons que l'électronique devienne, dans un futur proche, leur principale activité, notre objectif étant de faire de vous de vrais experts sans trop vous ennuyer, mais au contraire, en vous divertissant.

Giuseppe MONTUSCHI

Dispenser, dans une revue, un cours d'électronique est toujours une gageure. D'abord, si l'on ne veut faire aucune impasse, il faut du temps. Du temps, cela signifie aussi de nombreux mois de publication.

Ensuite, il faut que le cours soit simple mais précis, efficace mais sans complexité.

Le cours que nous vous proposons à partir de ce numéro 1 d'ELECTRONIQUE et Loisirs magazine est certainement le meilleur qu'il nous ait été donné de voir depuis que nous nous sommes découvert une passion pour l'électronique, c'est-à-dire depuis 38 ans ! Son auteur, Giuseppe MONTUSCHI est un autodidacte. A plus de 70 ans, chaque mois, sur son ordinateur, il écrit lui-même la plupart des articles qui sont publiés dans la revue NUOVA ELETTRONICA qu'il édite depuis plus de 30 ans. Nous tenons à le remercier de nous avoir confié ce cours et donné l'autorisation de le publier pour vous. Nous sommes convaincus qu'un jour prochain, grâce à lui, vous réaliserez votre rêve, faire de l'électronique votre passion.

J. P.

Le courant électrique

Chaque jour, nous profitons des bienfaits du courant électrique. Le secteur 220 volts fournit le courant nécessaire pour allumer les lampes de la maison, faire fonctionner le réfrigérateur, la télévision ou l'ordinateur. Les piles nous fournissent le courant nécessaire pour écouter notre baladeur ou pour téléphoner avec notre portable.
Le courant électrique ne s'obtient qu'en mettant en mouvement les électrons. Pour comprendre ce phénomène il faut nécessairement parler de l'atome.

L'atome, pour celui qui l'ignorerait encore, est constitué d'un noyau constitué de protons (de charge positive) et de neutrons (de charge neutre). Autour de ce noyau tournent, à la vitesse de la lumière (c'est-à-dire à 300 000 km par seconde) des électrons (de charge négative). La figure 1 est explicite.
On pourrait comparer l'atome à un système planétaire miniaturisé avec au centre le soleil (noyau de protons) et autour de nombreuses planètes (électrons) qui seraient en orbite.

Les électrons négatifs sont maintenus en orbite par les protons positifs comme le montre la figure 2.
Chaque atome, selon l'élément auquel il appartient, possède un nombre bien défini de protons et d'électrons.
Par exemple, l'atome d'hydrogène possède un seul proton et un seul électron

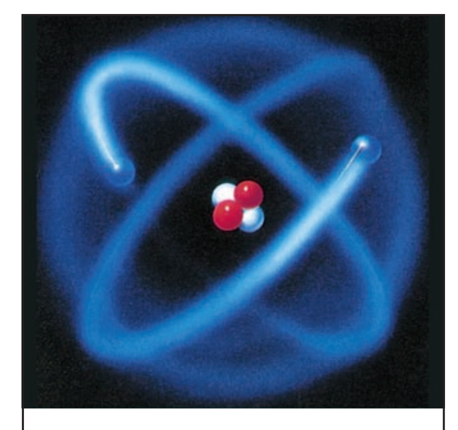


Fig. 1 : L'atome est constitué d'un noyau central de charge positive et d'électrons de charge négative qui sont en orbite autour de lui.

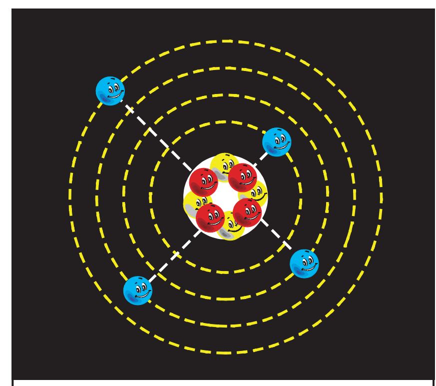


Fig. 2 : Les électrons sont maintenus en orbite par le noyau. Les électrons les plus éloignés peuvent facilement se soustraire à leur noyau.

(figure 3). L'atome de bore possède 5 protons et 5 électrons (figure 4), l'atome de cuivre possède 29 protons et 29 électrons, tandis que l'atome d'argent possède 47 protons et 47 électrons.
Plus le nombre d'électrons présents dans un atome est grand, plus le nombre d'orbites qui tournent autour de son noyau est important.
Les électrons qui tournent très près du noyau sont appelés électrons liés car ils sont difficiles à arracher de leur orbite.
Les électrons qui tournent dans les orbites les plus éloignées sont appelés électrons libres car on réussit sans difficulté à les soustraire à leurs orbites pour les insérer dans un autre atome. Ce déplacement d'électrons d'un atome à un autre peut s'obtenir avec un mouvement mécanique (dynamo - alternateur) ou avec une réaction chimique (piles - accumulateurs).
Si on retire des électrons à un atome, celui-ci prend une polarité positive, car le nombre de protons devient plus important que le nombre d'électrons (voir figure 7).
Si on introduit des électrons libres dans un atome, celui-ci prend une polarité négative car le nombre d'électrons devient plus important que le nombre de protons (voir figure 8).
Deux bornes dépassent toujours d'une pile, l'une marquée d'un signe positif (excès de protons) et l'autre marquée d'un signe négatif (excès d'électrons). Si on relie ces deux bornes avec un fil conducteur (par exemple le cuivre), les électrons seront attirés par les protons et ce mouvement d'électrons générera un courant électrique (voir figure 10) qui ne cessera que lorsqu'un parfait équilibre entre protons et électrons se sera rétabli dans les atomes.
Nombreux sont ceux qui considèrent que le flux du courant électrique va du positif vers le négatif.
Au contraire, le flux du courant électrique va toujours du négatif vers le positif car ce sont les protons qui attirent les électrons pour équilibrer leurs atomes et non l'inverse.
Pour comprendre le mouvement de ce flux d'électrons, on peut se servir de deux éléments très connus : l'eau et l'air.
On peut associer les électrons négatifs à l'eau et les protons positifs à l'air. Si on prend deux récipients pleins d'air (charge positive) et si on les relie entre eux avec un tube, il n'y aura aucun flux car dans chacun de ces récipients il manquera l'élément opposé, c'est-à-dire l'eau (voir figure 11).
Même si on relie entre-eux deux récipients pleins d'eau (charge négative), il n'y aura aucun flux dans le tube car il n'existe pas de déséquilibre eau/air (voir figure 12).
Si, par contre, on relie un récipient plein d'air (polarité positive) à un autre plein d'eau (polarité négative), on obtiendra un flux d'eau du récipient plein vers le vide (voir figure 13) qui ne cessera que lorsque les deux récipients auront atteint le même niveau (voir figure 14).

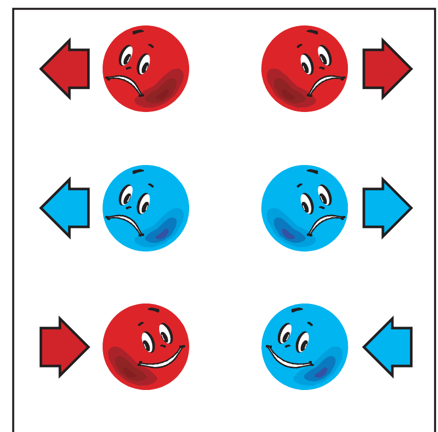


Fig. 9 : Deux atomes de charge positive ou de charge négative se repoussent tandis que deux atomes de charge opposée s'attirent.

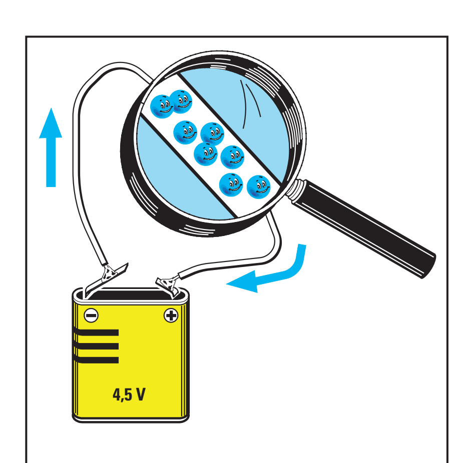


Fig. 10 : Les électrons sont attirés par les protons donc le flux du courant électrique va du négatif vers le positif.

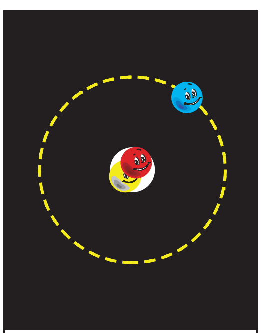


Fig. 3 : L'atome d'hydrogène a 1 proton et 1 électron.

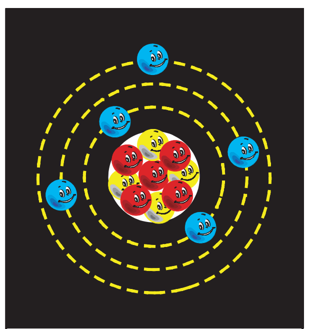


Fig. 4 : L'atome de bore a 5 protons et 5 électrons.

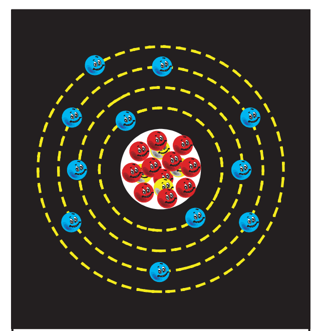


Fig. 5 : L'atome de sodium a 11 protons et 11 électrons.

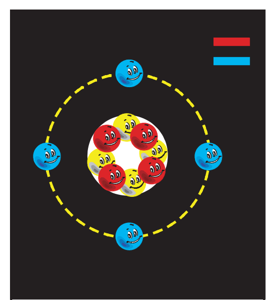


Fig. 6 : Lorsque le nombre d'électrons est égal au nombre de protons, la charge est neutre.

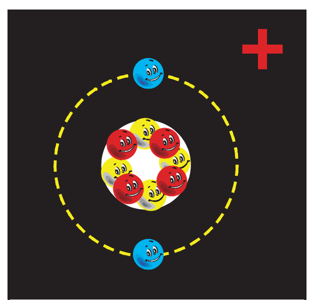


Fig. 7 : Si on retire à un atome des électrons, il devient une charge électrique positive.

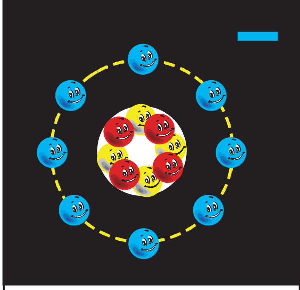


Fig. 8 : Si on ajoute à un atome des électrons, il devient une charge électrique négative.

Le mouvement des électrons peut être utilisé pour produire de la chaleur en les faisant passer à travers une résistance (radiateurs électriques, fer à souder, etc.), pour produire de la lumière en le faisant passer à travers le filament d'une ampoule ou encore, pour réaliser des électro-aimants en le faisant passer dans une bobine enroulée sur un morceau de fer (relais, télérupteurs).

Pour conclure, on peut affirmer que le courant électrique est un mouvement d'électrons attirés par des protons. Une fois que chaque atome aura équilibré ses protons avec les électrons manquants, il n'y aura plus aucun courant électrique.

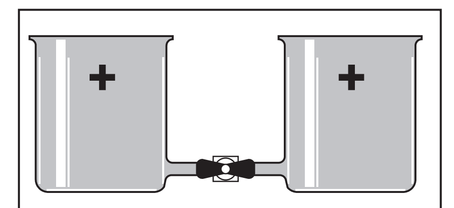


Fig. 11 : Si on compare l'air à une « charge positive » et l'eau à une « charge négative », en reliant entre eux deux récipients pleins d'air, il n'y aura aucun flux.

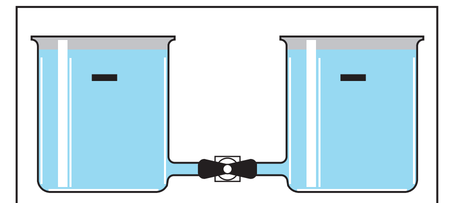


Fig. 12 : De même que, si on relie deux récipients pleins d'eau entre eux, il n'y aura aucun flux parce qu'il n'existe pas de déséquilibre entre la charge positive et la charge négative.

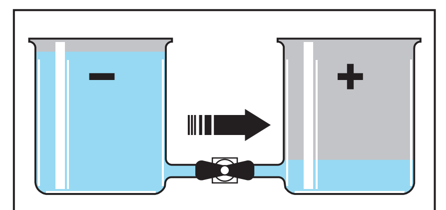


Fig. 13 : En reliant entre eux un récipient plein d'eau et un plein d'air, on obtiendra un flux d'eau de ce récipient vers l'autre, car il existe un déséquilibre.

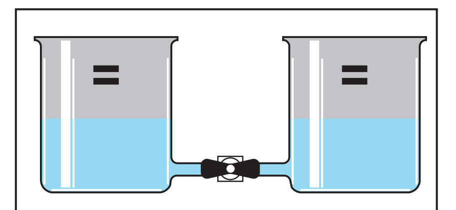


Fig. 14 : Le flux d'eau cessera lorsqu'on aura atteint un parfait équilibre eau/air. Une pile est déchargée quand les électrons sont au même nombre que les protons.

LA TENSION
unité de mesure VOLT

N'importe quelle pile a une électrode positive et une électrode négative car à l'intérieur de son corps il existe un déséquilibre d'électrons.
Ce déséquilibre de charges positives et négatives génère une tension qui se mesure en volt.
Une pile de 9 volts a un déséquilibre d'électrons 6 fois plus important qu'une pile de 1,5 volt, en effet, en multipliant 1,5 x 6 on obtient 9 volts (voir figures 15 et 16).
Une pile de 12 volts aura un déséquilibre d'électrons 8 fois plus important qu'une pile de 1,5 volt.
Pour vous expliquer l'importance de cette différence, nous utiliserons encore les éléments eau - air.
Une pile de 1,5 volt peut être comparée à deux récipients peu profonds : l'un plein d'eau (négatif) et l'autre plein d'air (positif).
Si on les relie entre eux, on aura un flux d'eau très modeste parce que la différence de potentiel s'avère toute aussi réduite (voir figure 13).
Une pile de 9 volts est comparable à un récipient dont la profondeur s'avère être 6 fois plus grande que celle du récipient de 1,5 volt, par conséquent, si l'on relie entre eux le récipient négatif et le récipient positif on aura un flux d'eau supérieur en raison d'une différence de potentiel plus importante.

Comme pour les mesures de poids, qui peuvent être exprimées en kilogrammes - quintaux - tonnes et en hectogrammes - grammes - milligrammes, l'unité de mesure volt peut aussi être exprimée avec ses multiples appelés :

- kilovolt
- mégavolt

ou bien alors avec ses sous-multiples appelés :

- millivolt
- microvolt
- nanovolt

Vous avez probablement souvent entendu parler de tensions continues et de tensions alternatives, mais avant de vous expliquer ce qui les différencie l'une de l'autre, il faut savoir que :

- la tension continue est fournie par : des piles - des accumulateurs - des cellules solaires
- la tension alternative est fournie par : des alternateurs - des transformateurs

En alimentant une ampoule avec une tension continue fournie par une pile ou un accumulateur (voir figure 19), on aura un fil de polarité négative et un fil de polarité positive. Les électrons circuleront donc toujours dans une seule direction, c'est-à-dire, du pôle négatif vers le pôle positif avec une tension constante.

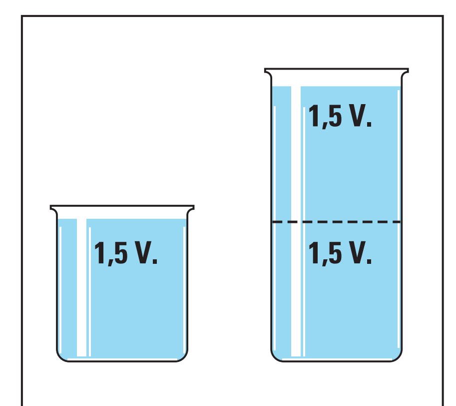


Fig. 15 : Une pile de 3 volts a un déséquilibre d'électrons double par rapport à une pile de 1,5 volt.

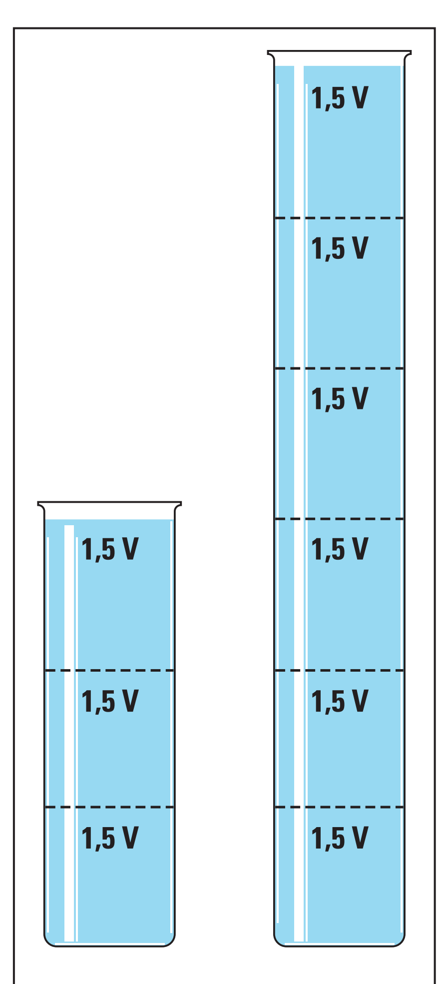
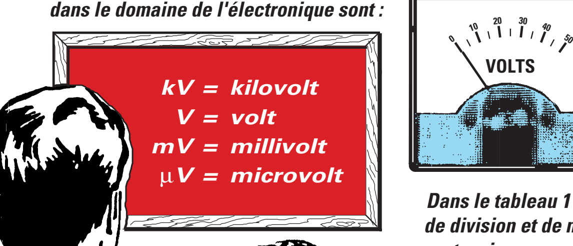
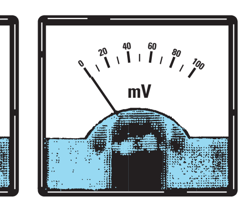


Fig. 16 : Une pile de 9 volts a un déséquilibre d'électrons « six » fois plus grand qu'une pile de 1,5 volt et « deux » fois plus grand qu'une pile de 4,5 volts.

Les mesures de tension les plus utilisées dans le domaine de l'électronique sont :





Dans le tableau 1 nous reportons les facteurs de division et de multiplication pour convertir une tension en ses multiples et sous-multiples :

TABLEAU 1	CONVERSION	VOLT
volt	x 1 000	= kilovolt
volt	: 1 000	= millivolt
volt	: 1 000 000	= microvolt
millivolt	x 1 000	= volt
millivolt	: 1 000	= microvolt
microvolt	x 1 000	= millivolt
microvolt	x 1 000 000	= volt

En alimentant une ampoule avec une tension alternative de 12 volts, fournie par un alternateur ou un transformateur (voir figure 20), ce n'est plus un fil négatif et un fil positif que nous aurons mais alternativement l'un ou l'autre car la polarité changera continuellement. Cela revient à dire que, successivement (alternativement) circulera dans chaque fil une tension négative qui deviendra positive pour redevenir négative, puis à nouveau positive, etc. Donc, les électrons circuleront tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé. L'inversion de polarité sur les deux fils n'intervient pas brusquement — c'est-à-dire qu'il n'y a pas une inversion soudaine de polarité de 12 volts positifs à 12 volts négatifs ou vice-versa — mais de façon progressive.

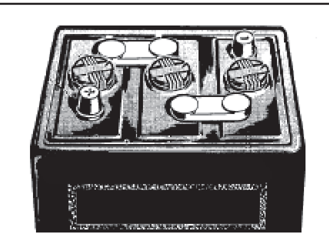
Cela signifie que la valeur d'une tension alternative commence à une valeur de 0 volt pour augmenter progressivement à 1, 2, 3, etc. volts positifs jusqu'à atteindre son maximum positif de 12 volts, puis elle commence à redescendre à 11, 10, 9, etc. volts positifs jusqu'à revenir à la valeur initiale de 0 volt.

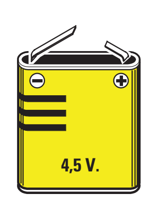
A ce point, sa polarité s'inverse et, toujours de façon progressive, augmente à 1, 2, 3, etc. volts négatifs jusqu'à atteindre son maximum négatif de 12 volts, puis elle commence à redescendre à 11, 10, 9, etc. volts négatifs, jusqu'à retourner à la valeur de départ de 0 volt (voir figure 26).

Ce cycle du positif au négatif se répète à l'infini.

Une fois de plus, nous allons vous expliquer la différence qui existe entre une tension « continue » et une tension « alternative », avec un exemple hydraulique et pour ce faire, nous utiliserons nos récipients, l'un plein d'eau (pôle négatif) et l'autre plein d'air (pôle positif).

Pour simuler la tension continue on relie les deux récipients comme sur la figure 21.
L'eau s'écoulera vers le récipient vide, et lorsqu'elle aura atteint le même niveau dans les deux récipients, le déplacement de l'eau cessera.
De la même façon, dans une pile ou dans un accumulateur, les électrons négatifs en excès afflueront toujours vers le pôle positif, et lorsque sera atteint un parfait équilibre entre les charges positives et les charges négatives, ce flux cessera.
Une fois que cet équilibre est atteint, il n'y a plus de déplacement d'électrons, la pile ne réussissant plus à fournir de courant électrique. Elle est alors considérée comme déchargée.
Quand une pile est déchargée on la jette (pas n'importe où mais dans les récipients prévus à cet effet !), à la différence d'un accumulateur qui, lorsqu'il est déchargé, peut être rechargé en étant relié à un générateur de tension





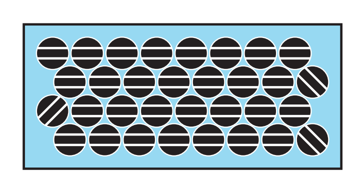


Fig. 17 : TENSIONS CONTINUES - On prélève la tension « continue » des batteries rechargeables, des piles et des cellules solaires.

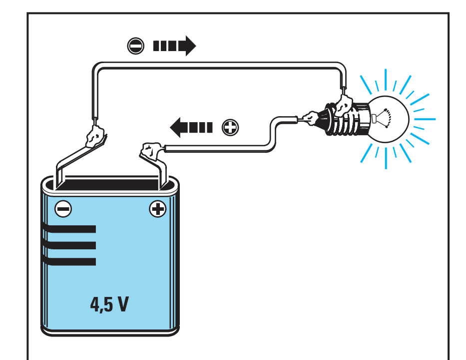


Fig. 19 : En tension « continue » on aura toujours un fil de polarité négative et un de polarité positive.

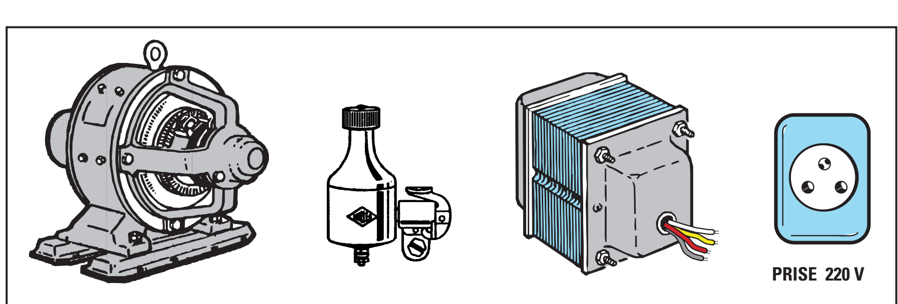


Fig. 18 : TENSIONS ALTERNATIVES - On prélève la tension « alternative » des alternateurs, des transformateurs et du secteur 220 volts.

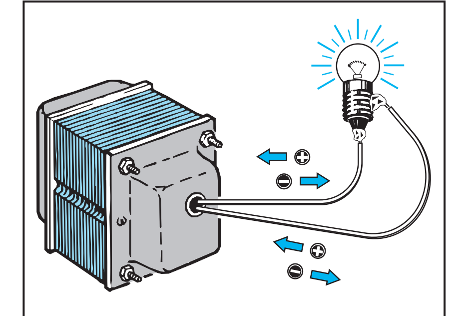


Fig. 20 : En tension « alternative » les deux fils n'ont pas de polarité, parce qu'alternativement, les électrons vont dans un sens puis dans le sens opposé.

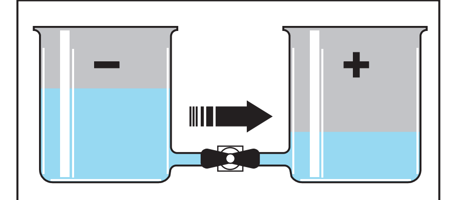


Fig. 21 : En tension « continue » l'eau s'écoule vers le récipient plein d'air jusqu'à ce que s'opère un parfait équilibre entre les deux éléments.

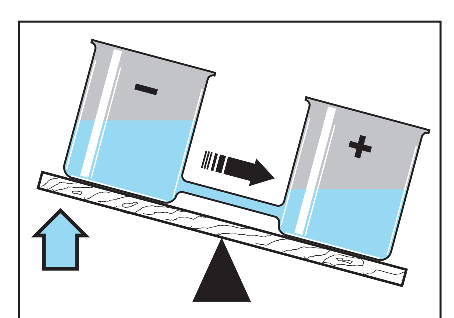


Fig. 22 : En tension « alternative » l'eau s'écoule vers le récipient vide.

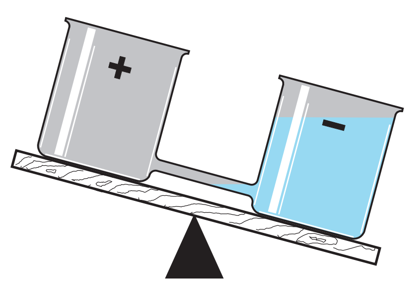


Fig. 23 : Quand celui-ci s'est rempli, il devient de polarité opposée, c'est-à-dire négative.

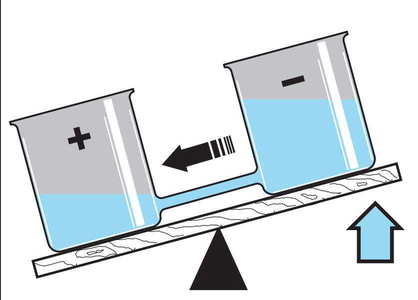


Fig. 24 : A ce point, le récipient plein se lève et l'eau s'écoule en sens inverse.

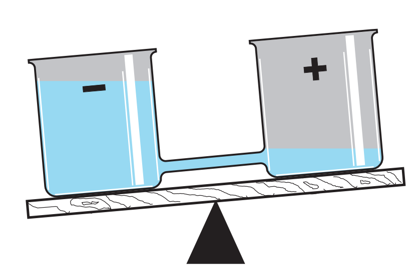


Fig. 25 : Quand le récipient de gauche est plein, il se lève pour inverser le flux.

externe, qui se chargera de créer à nouveau le déséquilibre initial entre électrons et protons.

Pour simuler la tension alternative, on utilise toujours les deux récipients, que l'on place, cette fois, sur un plan en bascule (voir figure 22).

Une main invisible placera celui plein d'eau (polarité négative) en position surélevée par rapport à l'autre qui est vide (polarité positive).

Tout d'abord, l'eau s'écoulera vers le récipient vide et lorsque le flux cessera, on aura le récipient de gauche vide (polarité positive), et celui de droite plein d'eau (polarité négative).

A ce point, la « main invisible » soulèvera le récipient de droite en faisant écouler l'eau dans le sens inverse jusqu'à remplir le récipient de gauche, et une fois qu'il se sera rempli, cette même main le soulèvera encore pour inverser à nouveau le flux de l'eau (voir figure 25).

De cette façon, l'eau s'écoulera dans le tube reliant les deux récipients, d'abord dans un sens, puis dans le sens opposé.

LA FREQUENCE
unité de mesure
le HERTZ

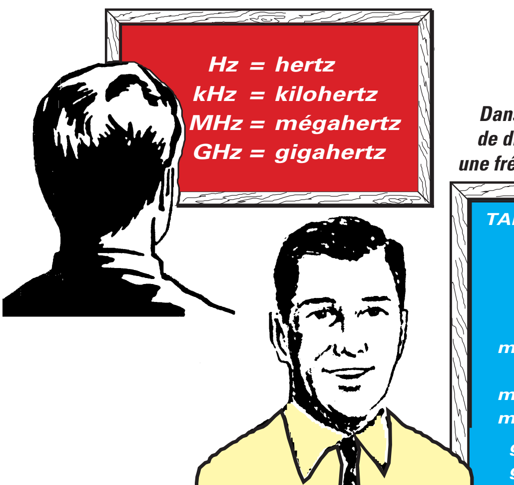
Dans la figure 26 nous montrons le graphique d'une période de la tension alternative qui, comme vous pouvez le voir, représente une sinusoïde composée d'une alternance positive et d'une alternance négative.

On appelle fréquence, le nombre des sinusoïdes qui se répètent en l'espace d'une seconde. On l'exprime avec le symbole Hz, qui signifie Hertz.

Si vous observez l'étiquette qui figure sur le compteur de votre habitation, vous y trouverez l'indication 50 Hz.

Ce nombre sert à indiquer que la tension que nous utilisons pour allumer nos lampes change de polarité 50 fois en 1 seconde.

Les mesures de fréquence les plus utilisées dans le domaine de l'électronique sont :



Dans le tableau 2 nous reportons les facteurs de division et de multiplication pour convertir une fréquence en ses multiples et sous-multiples :



TABLEAU 2	CONVERSION	HERTZ
hertz	x 1 000	= kilohertz
hertz	x 1 000 000	= mégahertz
kilohertz	x 1 000	= mégahertz
kilohertz	x 1 000 000	= gigahertz
mégahertz	x 1 000	= gigahertz
kilohertz	: 1 000	= hertz
mégahertz	: 1 000	= kilohertz
mégahertz	: 1 000 000	= hertz
gigahertz	: 1 000	= mégahertz
gigahertz	: 1 000 000	= kilohertz

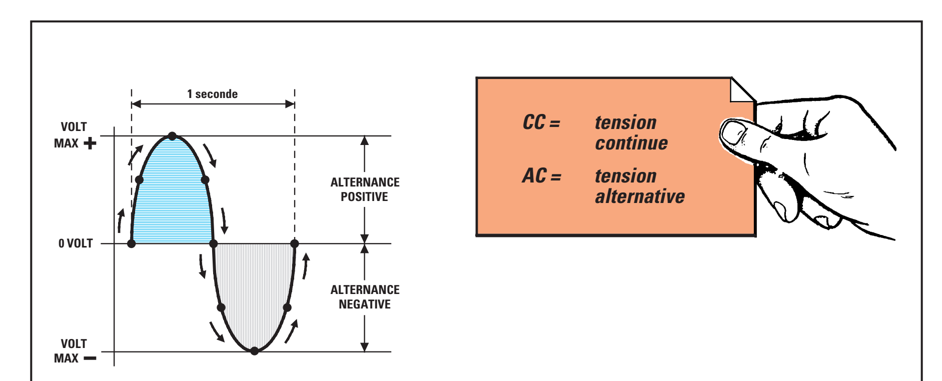


Fig. 26 : On appelle « fréquence » le nombre des sinusoïdes qui se répètent en « 1 seconde ». La fréquence se mesure en Hertz.

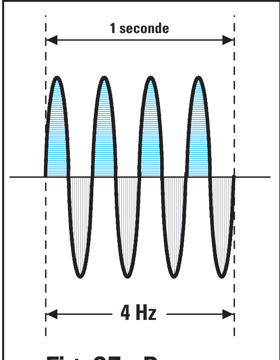


Fig. 27 : Pour une fréquence de 4 Hz, la tension change de polarité 4 fois par seconde.

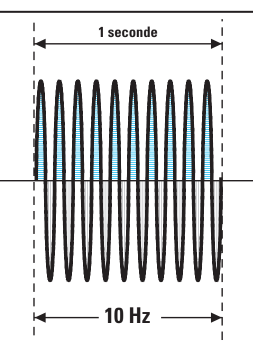


Fig. 28 : Pour une fréquence de 10 Hz, la tension change de polarité 10 fois par seconde.

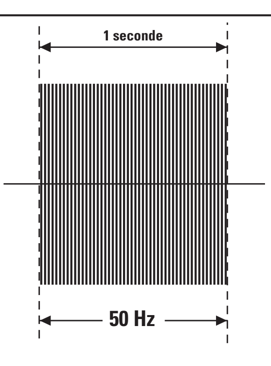
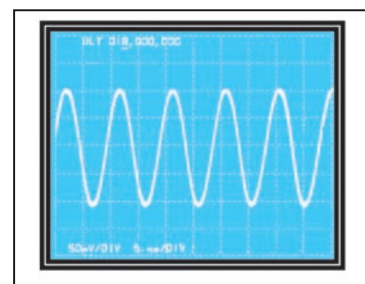
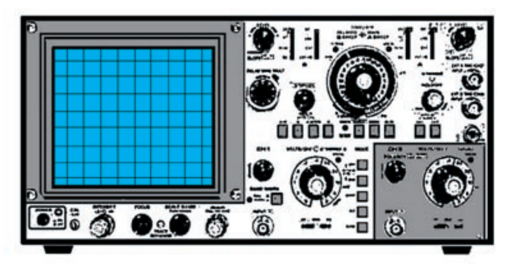


Fig. 29 : Pour une fréquence de 50 Hz, la tension change de polarité 50 fois par seconde.



Fig. 30 : A l'aide d'un instrument de mesure appelé oscilloscope, il est possible de visualiser sur l'écran, le nombre de sinusoïdes présentes en 1 seconde.

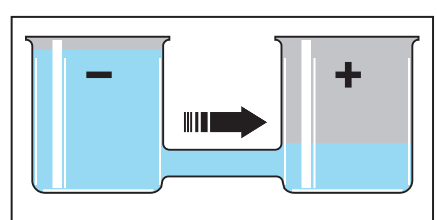

Fig. 31 : Un tuyau étroit permettra à peu d'eau de s'écouler du pôle négatif vers le pôle positif.

Fig. 32 : Un gros tuyau permettra à beaucoup d'eau de s'écouler du pôle négatif vers le pôle positif.

Une variation de 50 fois en 1 seconde est tellement rapide que notre œil ne réussira jamais à remarquer la valeur croissante ou décroissante des alternances.
En mesurant cette tension avec un voltmètre, l'aiguille ne déviera jamais d'un minimum à un maximum, car les variations sont trop rapides par rapport à l'inertie de l'aiguille. Seul un oscilloscope nous permet de visualiser sur son écran cette forme d'onde (voir figure 30).

LE COURANT
unité de mesure l'AMPERE

On appelle le mouvement des électrons de l'électrode négative vers l'électrode positive, le courant. Il se mesure en ampères.
A titre d'information il plaira aux plus curieux de savoir qu'1 ampère correspond à : 6 250 000 000 000 000 000 électrons ! qui se déplacent du pôle négatif vers le pôle positif en l'espace d'1 seconde.

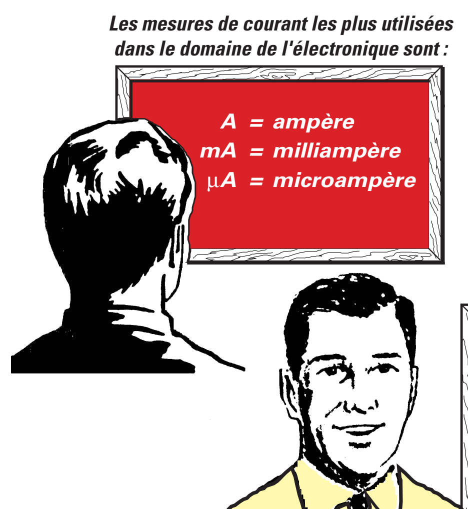
Le courant ne dépend en aucune façon de la valeur de la tension. On peut donc prélever 1 ampère aussi bien d'une pile de 1,5 volt que d'une pile de 9 volts, d'une batterie de voiture de 12 volts ou encore de la tension secteur de 220 volts.

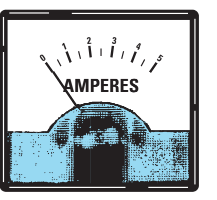
Pour mieux comprendre la différence existant entre volt et ampère, nous utiliserons à nouveau l'eau.
Si nous relions le réservoir négatif et le réservoir positif avec un tube de petit diamètre (voir figure 31), le flux d'eau s'écoulera lentement, et puisqu'il est possible de comparer ce flux à un nombre d'électrons en transit, on peut donc affirmer que quand il passe peu d'eau dans le tube, dans le circuit électrique s'écoulent peu d'ampères.
Si nous relions les deux réservoirs avec un tube de diamètre plus important (voir figure 32), le flux d'eau augmentera, c'est-à-dire que dans le circuit s'écouleront plus d'électrons et donc plus d'ampères.
Comme le volt, l'ampère a ses sous-multiples, appelés :
- milliampère
- microampère
- nanoampère

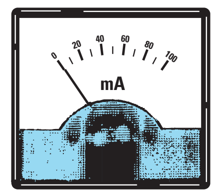
LA PUISSANCE
unité de mesure le WATT

En connaissant la valeur de la tension de n'importe quel générateur tel une pile, une batterie, un transformateur ou une ligne électrique et la valeur du courant que nous prélevons pour alimenter une lampe, une radio, un réfrigérateur, un fer à souder etc., nous pouvons connaître la valeur de la puissance absorbée, exprimée en watts.

Les mesures de courant les plus utilisées dans le domaine de l'électronique sont :







Dans le tableau 3 nous reportons les facteurs de division et de multiplication pour convertir un courant en ses multiples et sous-multiples :

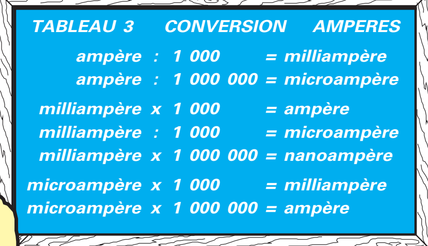


TABLEAU 3	CONVERSION	AMPERES
ampère :	1 000	= milliampère
ampère :	1 000 000	= microampère
milliampère x	1 000	= ampère
milliampère :	1 000	= microampère
milliampère x	1 000 000	= nanoampère
microampère x	1 000	= milliampère
microampère x	1 000 000	= ampère

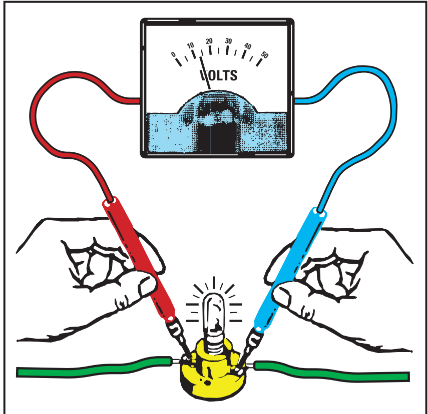


Fig. 33 : L'instrument appelé « voltmètre » s'applique toujours entre les pôles positif et négatif, pour mesurer le « déséquilibre » d'électrons qui existe entre les deux pôles. Voir les exemples des récipients pleins d'eau dans les figures 15 et 16.

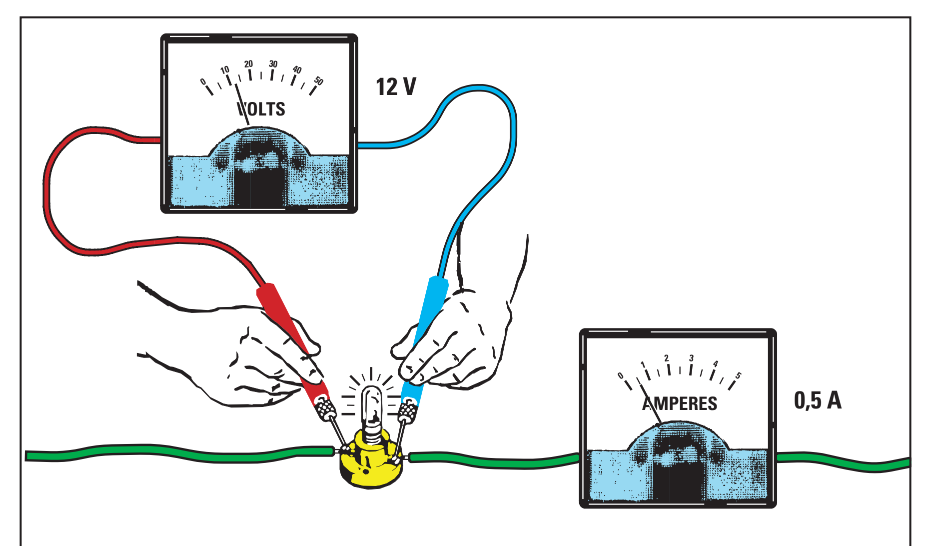


Fig. 35 : Une ampoule alimentée par une tension de 12 volts, absorbe un courant de 0,5 ampère et débite une puissance lumineuse de 6 watts. Pour calculer la puissance, il suffit de multiplier les volts par les ampères : 12 volts x 0,5 ampère = 6 watts

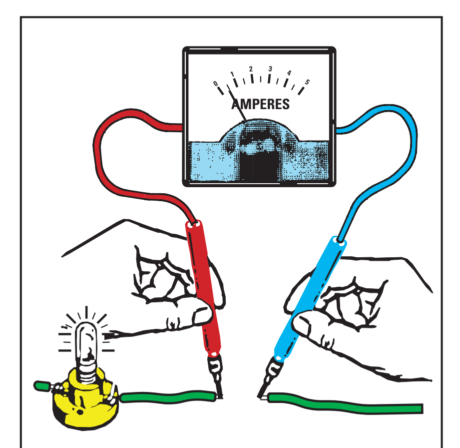


Fig. 34 : L'instrument appelé « ampèremètre » s'applique toujours en « série » sur un fil, pour mesurer le « passage » d'électrons. Les ampères ne sont pas influencés par la tension, donc 1 ampère peut s'écouler sous des tensions de 4,5 - 9 - 24 - 220 volts.

La formule permettant d'obtenir les watts est très simple :

watt = volt x ampère

Une lampe de 12 volts - 0,5 ampère absorbe donc une puissance de :
12 x 0,5 = 6 watts

En connaissant les watts et les ampères, nous pouvons connaître la valeur de la tension d'alimentation, en utilisant la formule contraire, c'est-à-dire :

volt = watt : ampère

Si nous avons une lampe de 6 watts qui absorbe 0,5 ampère, sa tension d'alimentation sera de :

6 : 0,5 = 12 volts

En connaissant les watts et les volts, nous pouvons connaître les ampères absorbés en utilisant la formule suivante :

ampère = watt : volt

Une lampe d'une puissance de 6 watts devant être alimentée avec une tension de 12 volts, absorbera un courant de :

6 : 12 = 0,5 ampère

A présent que vous savez que le watt indique la puissance, vous comprendrez qu'un fer à souder de 60 watts débite en chaleur une puissance plus importante qu'un fer à souder de 40 watts.
De la même manière, pour deux ampoules, l'une de 50 watts et l'autre de 100 watts, la seconde consommera une puissance double de celle consommée par la première mais émettra également le double de lumière !

Le multiple des watts est appelé :
- kilowatt

et ses sous-multiples :
- milliwatt
- microwatt

Les générateurs de tension

Les générateurs de tension les plus communs sont les piles que nous pouvons trouver dans le commerce, sous diverses formes et dimensions (voir figure 37).

Chaque pile peut fournir, selon son modèle, une tension de 1,5 - 4,5 - 9 volts.

Il existe des générateurs de tension rechargeables, dont, par exemple, les accumulateurs au nickel/cadmium (Ni/Cd) qui fournissent une tension de

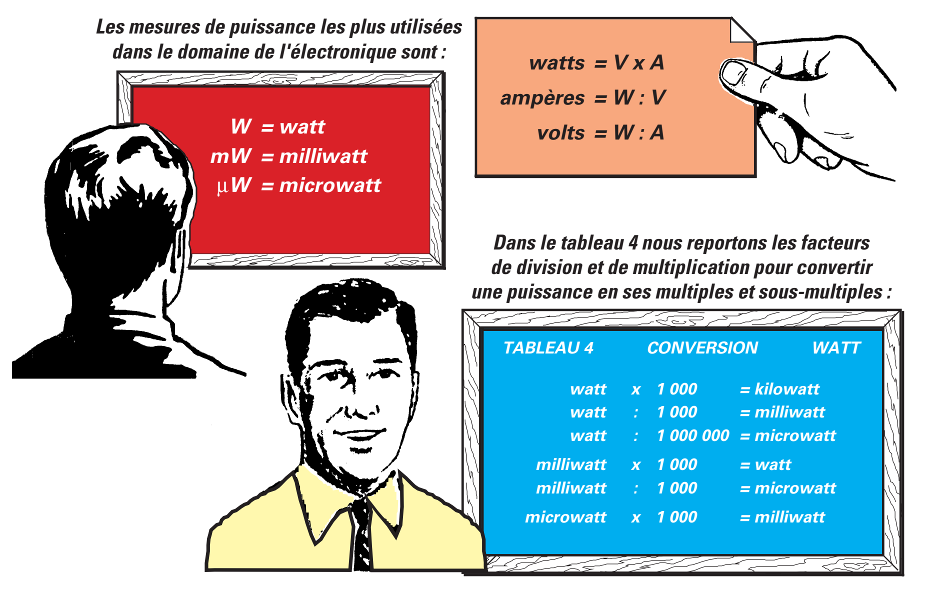


TABLEAU 4	CONVERSION		WATT
watt	x	1 000	= kilowatt
watt	:	1 000	= milliwatt
watt	:	1 000 000	= microwatt
milliwatt	x	1 000	= watt
milliwatt	:	1 000	= microwatt
microwatt	x	1 000	= milliwatt

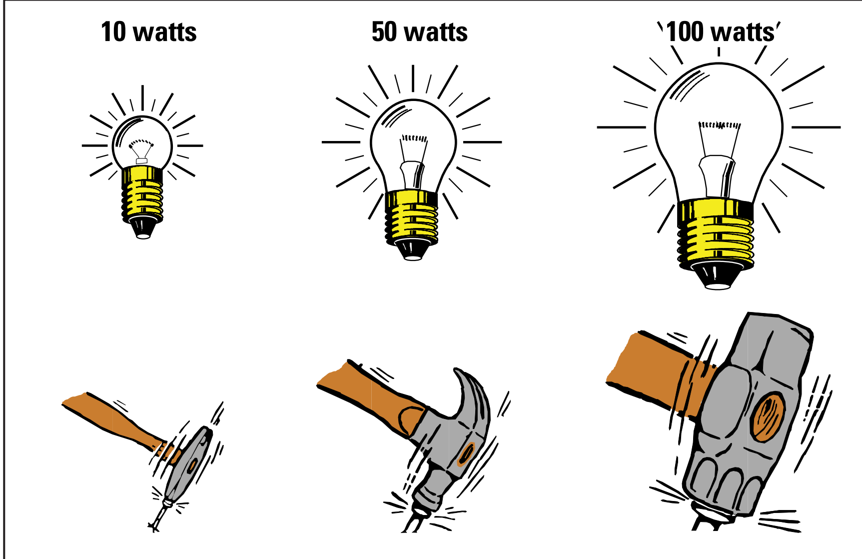


Fig. 36 : On peut comparer la puissance à un « marteau ».
Un petit marteau a une puissance moindre qu'un marteau de dimensions plus importantes. C'est la raison pour laquelle une lampe de 10 watts diffuse moins de lumière qu'une lampe de 100 watts, et qu'un moteur électrique de 1 000 watts distribue plus de puissance qu'un moteur de 500 watts. Plus le nombre de watts de la lampe, du moteur ou du circuit que nous alimentons est important, plus sont nombreux les ampères absorbés par la source.

1,2 volt ou encore, des accumulateurs au plomb (vulgairement appelés « batteries »), normalement installés sur tous les véhicules et qui, généralement, fournissent une tension de 12,6 volts.
Il existe aussi des générateurs pouvant transformer la lumière en une tension, et qui sont pour cette raison appelés cellules solaires (voir figure 17).

Certains générateurs fonctionnent avec le mouvement. Par exemple la dynamo, installée sur toutes les bicyclettes (voir figure 18) ou les alternateurs, installés sur les véhicules, pour recharger la batterie.

Rappel : les dynamos installées sur les bicyclettes génèrent une tension alternative.

Dans chaque appartement, on retrouve les prises électriques desquelles on peut prélever une tension alternative de 220 volts.
Le générateur de tension appelé transformateur est utilisé en électronique pour abaisser la tension alternative 220 volts du secteur à des tensions inférieures, par exemple 9 - 12 - 20 - 30 volts. Ces mêmes transformateurs peuvent également êtres construits pour élever une tension, par exemple 110 à 220 volts.

1er exercice

Le premier exercice que nous vous proposons, vous permettra de constater ce qui arrive si l'on relie en série ou en parallèle deux sources d'alimentation.

Procurez-vous deux piles carrées de 4,5 volts, une ampoule de 6 volts munie de sa douille et un morceau de fil de cuivre isolé plastique pour installations électriques.

En reliant les deux extrémités de l'ampoule à une seule pile (voir figure 39), vous verrez s'allumer l'ampoule.
Si vous prenez les deux piles et que vous reliez entre eux les deux pôles positifs et les deux pôles négatifs, en branchant l'ampoule, vous la verrez cette fois encore s'allumer, avec la même intensité que précédemment.

Cette liaison, appelée parallèle (voir figure 39), n'a pas modifié la valeur de la tension, qui reste toujours de 4,5 volts, mais seulement la puissance disponible.
En pratique nous avons doublé l'autonomie de la pile, c'est-à-dire que si une seule pile pouvait tenir allumée l'ampoule pendant 10 heures, en reliant deux piles en parallèle, nous réussirions à la garder allumée pendant 20 heures.

Maintenant, reliez le positif d'une pile au négatif de la seconde (voir figure 40), puis reliez une ampoule aux deux extrémités des piles et vous noterez une augmentation de la luminosité.
Ce branchement, appelé série, a doublé la valeur de la tension qui est montée de :

4,5 volts à 4,5 + 4,5 = 9 volts.

Si par erreur, vous reliez le négatif d'une pile avec le négatif de la seconde pile et sur les deux extrémités positives (voir figure 40 à droite) vous reliez l'ampoule, celle-ci restera éteinte parce que les électrons de même polarité se repoussent.

Le même phénomène se produit si on branche le positif d'une pile au positif d'une deuxième pile.

Important

Nous pouvons relier en parallèle également deux - trois - quatre piles, à condition qu'elles débitent la même tension et donc, relier en parallèle deux ou plusieurs piles de 4,5 volts ou encore deux ou plusieurs piles qui débitent 9 volts. Par contre, nous ne pouvons pas relier en parallèle une pile de



Fig. 37 : Dans le commerce, on peut trouver des piles de tensions et de dimensions diverses. La capacité d'une pile est exprimée en ampère/heure. Une pile de 3 Ah se décharge en une heure si l'on prélève 3 ampères, en deux heures si l'on prélève 1,5 ampère et en 30 heures si l'on prélève 0,1 ampère.

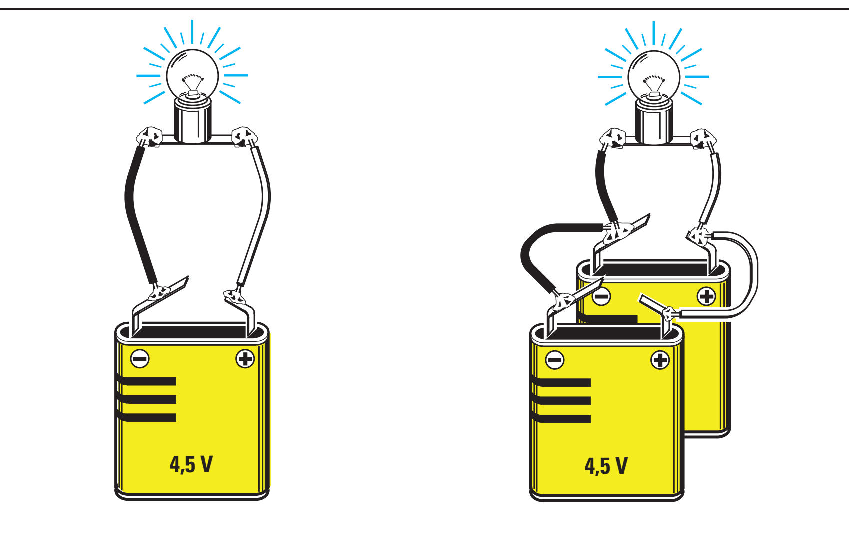


**Fig. 39 : En reliant à une pile une ampoule, celle-ci s'allume.
En reliant en parallèle deux piles, nous modifions seulement la « capacité » de la source, donc la luminosité de l'ampoule ne varie pas.
En reliant en série (voir figure 40 à gauche) deux piles, la luminosité double, car nous augmentons le déséquilibre des électrons.**

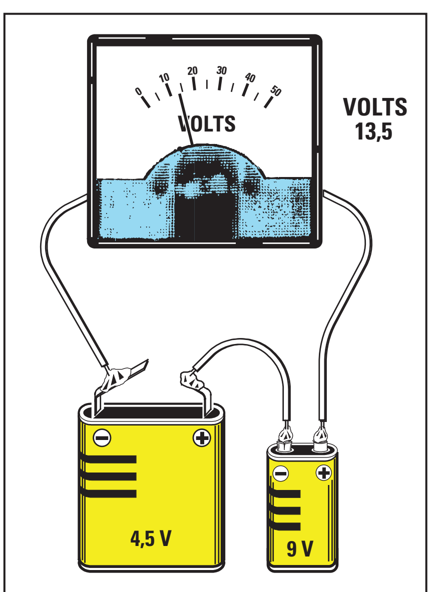


Fig. 41 : En reliant en série une pile de 4,5 volts avec une pile de 9 volts, nous obtiendrons une tension totale de 13,5 volts. Pour effectuer un branchement en série, nous devons relier le positif d'une pile au négatif de l'autre.

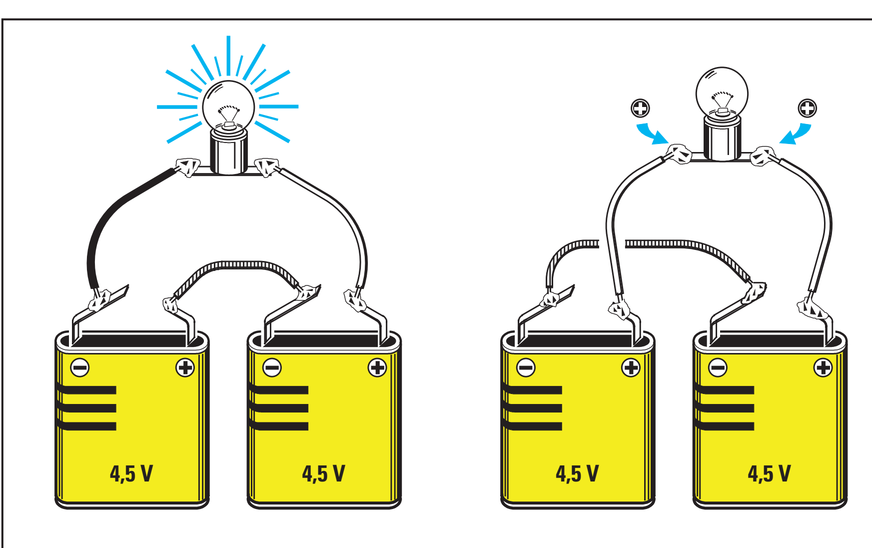


**Fig. 40 : Pour relier en série deux piles, nous devrons relier le pôle négatif de l'une au pôle positif de l'autre.
Si nous relions les piles, comme sur le dessin de droite, nous n'obtiendrons aucune tension.**

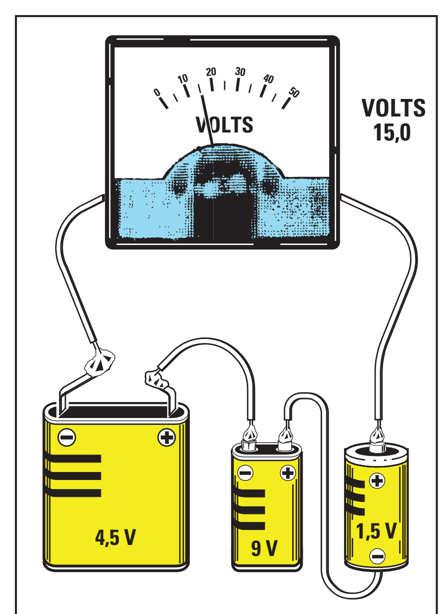


Fig. 42 : En reliant en série trois piles, une de 4,5 volts, une de 9 volts et une de 1,5 volt, nous obtiendrons une tension de 15 volts. Si les trois piles ont des capacités différentes, la plus faible d'entre elles s'épuise avant les autres.

4,5 volts à une de 9 volts car la pile qui débite la tension la plus importante se déchargera dans la pile qui débite la tension la moins importante.



Fig. 38 : En 1801, le physicien Alessandro Volta présenta à Paris, en présence de Napoléon Bonaparte, sa pile électrique.

Les piles de différentes tensions peuvent, par contre, être reliées en série. Par exemple, si nous relions en série une pile de 4,5 volts à une pile de 9 volts (voir figure 41), nous obtiendrons une tension totale de :

4,5 + 9 = 13,5 volts

Si on relie en série trois piles, une de 4,5 volts, une de 9 volts et une de 1,5 volt
(voir figure 42), on obtiendra une tension totale de :

4,5 + 9 + 1,5 = 15 volts

Dans une liaison en série, on devra toutefois choisir des piles qui ont une même capacité.

Par exemple, si la pile de 4,5 volts a une autonomie de 10 heures, celle de 9 volts une autonomie de 3 heures et celle de 1,5 volt une autonomie de 40 heures, en les reliant en série elles cesseront de nous fournir de la tension après seulement 3 heures, c'est-à-dire quand la pile de 9 volts, qui a la plus faible capacité, se sera complètement déchargée. ◆

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

LA RESISTANCE unité de mesure l'OHM

Tous les matériaux ne sont pas bons conducteurs d'électricité.
Ceux qui contiennent beaucoup d'électrons libres, comme par exemple l'or, l'argent, le cuivre, l'aluminium, le fer, l'étain, sont d'excellents conducteurs d'électricité.
Les matériaux qui contiennent très peu d'électrons libres, comme par exemple la céramique, le verre, le bois, les matières plastiques, le liège, ne réussissent en aucune manière à faire s'écouler les électrons et c'est pour cela qu'ils sont appelés isolants.
Il existe des matériaux intermédiaires qui ne sont ni conducteurs, ni isolants, comme par exemple le nickel-chrome, le constantan ou le graphite.
Tous les matériaux qui offrent une résistance au passage des électrons, sont utilisés en électronique pour construire résistances, potentiomètres et trimmers, c'est-à-dire des composants qui ralentissent le flux des électrons.

L'unité de mesure de la résistance électrique est l'ohm. Son symbole est la lettre grecque oméga (Ω),
Un ohm correspond à la résistance que rencontrent les électrons en passant à travers une colonne de mercure haute de 1 063 millimètres (1 mètre et 63 millimètres), d'un poids de 14,4521 grammes et à une température de 0 degré.

Outre sa valeur ohmique, la résistance a un autre paramètre très important : la puissance maximale en watts qu'elle est capable de dissiper sans être détruite.
C'est pourquoi vous trouverez dans le commerce des résistances de petite taille composées de poudre de graphite d'une puissance de 1/8 de watt ou de

Petite précision qui a son importance !

Voici les formules que l'on retrouve dans tous les textes d'électronique :

ohm (Ω) = kilohm (kΩ) : 1 000
kilohm (kΩ) = ohm (Ω) x 1 000
ohm (Ω) = mégohm (MΩ) : 1 000 000
mégohms (MΩ) = ohm (Ω) x 1 000 000

Nombreux sont ceux qui commettent des erreurs parce qu'ils ne tiennent pas compte du fait qu'un kilohm est mille fois plus grand qu'un ohm, et qu'un ohm est mille fois plus petit qu'un kilohm. Donc, si l'on veut convertir des ohms en kilohms, il faut conserver à l'esprit qu'il faut diviser et non pas multiplier les ohms par 1 000.

Par exemple, pour convertir 150 ohms en kilohms nous devons tout simplement faire : 150 (Ω) : 1 000 = 0,15 kΩ.
Tandis que pour convertir 0,15 kilohm en ohms nous devons tout simplement faire : 0,15 (kΩ) x 1 000 = 150 Ω.
Dans le tableau 5 apparaît ce que certains pourraient considérer comme l'inverse de ce qui vient d'être dit mais c'est bien exact car si on multiplie 1 Ω par 1 000 on obtient bien 1 kΩ !

Ce qui vient d'être énoncé vaut également pour tous les tableaux qui figurent dans la 1ère leçon.

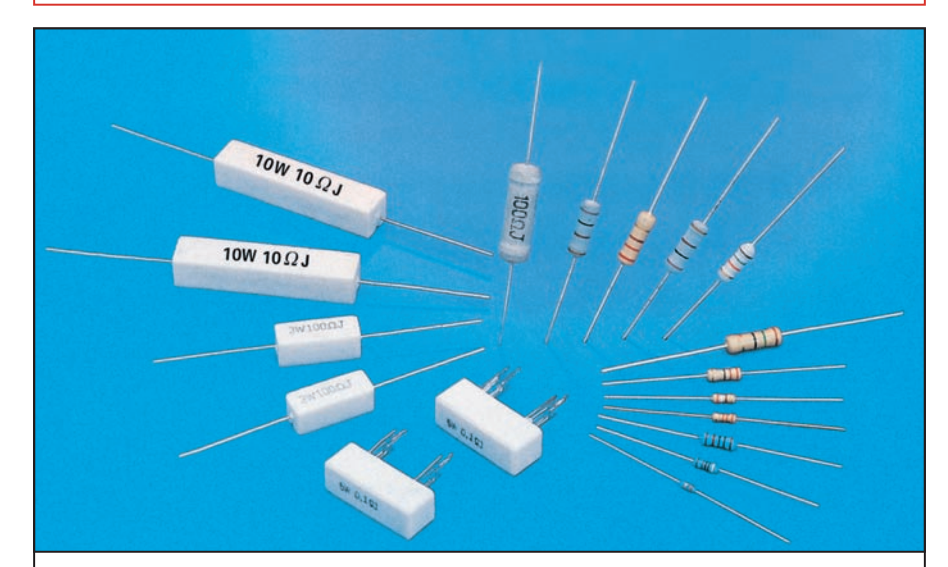
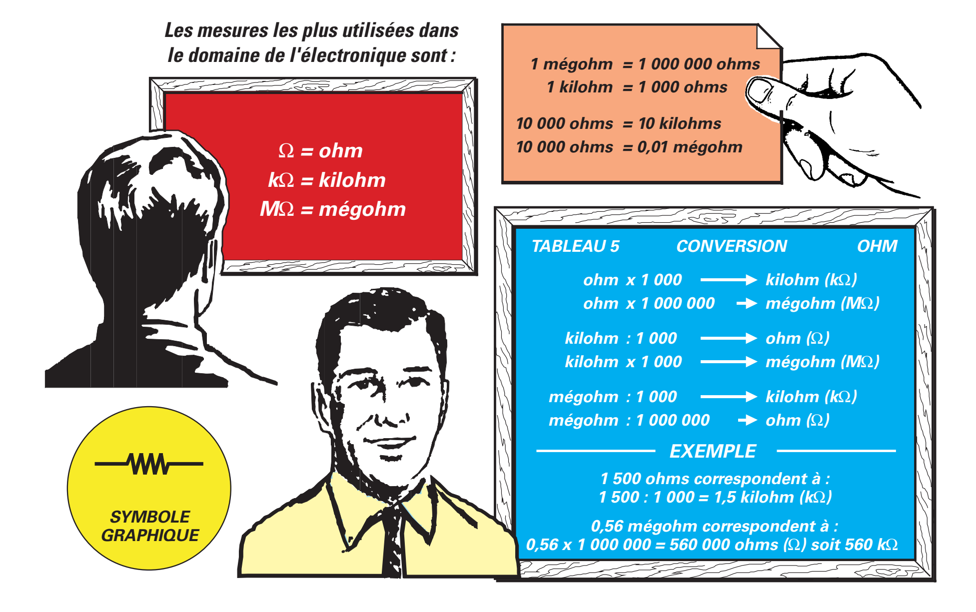


Fig. 43 : Les résistances de 1/8, 1/4, 1/2 et 1 watt utilisées en électronique ont la forme de petits cylindres équipés de deux pattes fines. La valeur ohmique de ces résistances s'obtient par la lecture des quatre anneaux de couleur marqués sur leurs corps (voir figure 46). Les résistances de 3, 5, 7, 10 et 15 watts ont un corps rectangulaire en céramique sur lequel sont directement inscrites leur valeur ohmique et leur puissance en watts.



1/4 de watt, d'autres - de dimensions légèrement plus importantes - de 1/2 watt et d'autres encore, beaucoup plus grandes, de 1 ou 2 watts (voir figure 43).
Pour obtenir des résistances capables de dissiper des puissances de l'ordre de 3, 5, 10, 20, 30 watts, on utilise du fil de nickel-chrome (voir figure 47).

A quoi servent les résistances ?

Une résistance placée en série dans un circuit provoque toujours une chute de tension car elle freine le passage des électrons.
Si on relie en série un conducteur capable de laisser passer un nombre important d'électrons et un composant capable de freiner leur passage, il est évident que leur flux sera ralenti.
Pour mieux nous expliquer, nous pouvons comparer la résistance à l'étranglement d'un tuyau d'une installation hydraulique (voir figure 44).
Si le tuyau ne présente aucun étranglement, l'eau s'écoule à l'intérieur sans rencontrer de résistance.
Si on le resserre légèrement, l'étranglement provoquera une baisse de la pression de l'eau, et si on le resserre encore plus, l'eau rencontrera alors une forte résistance s'opposant à son passage.
En électronique, les résistances sont utilisées pour réduire « la pression », c'est-à-dire la tension en volts.
Quand un courant électrique rencontre une résistance qui empêche les électrons de s'écouler librement, ceux-ci surchauffent.
Beaucoup de dispositifs électriques se servent de cette surchauffe pour produire de la chaleur.
Par exemple, dans le fer à souder se trouve une résistance en nickel-chrome qui, en chauffant, transmet à la panne une température suffisante pour qu'elle

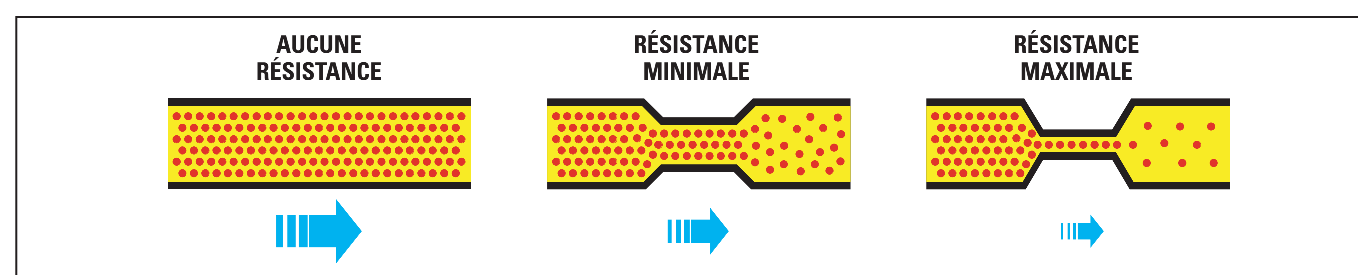
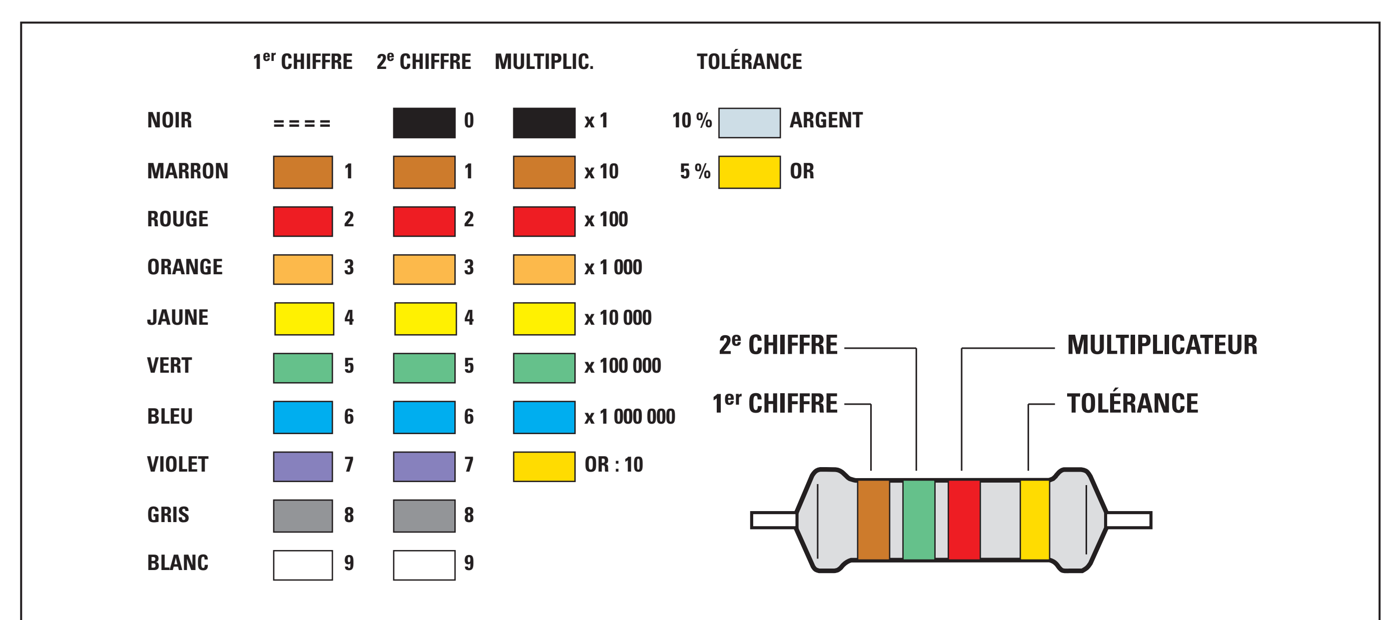


Fig. 44 : On peut comparer une résistance à un étranglement placé en série dans un conducteur afin de réduire le flux régulier des électrons. Une résistance avec une valeur ohmique faible (étranglement moyen), réduira beaucoup moins le flux des électrons qu'une résistance ayant une valeur ohmique élevée (étranglement plus important).



	1er CHIFFRE	2e CHIFFRE	MULTIPLIC.	TOLÉRANCE
NOIR	= = = =	0	x 1	10 % ARGENT
MARRON	1	1	x 10	5 % OR
ROUGE	2	2	x 100	
ORANGE	3	3	x 1 000	
JAUNE	4	4	x 10 000	
VERT	5	5	x 100 000	
BLEU	6	6	x 1 000 000	
VIOLET	7	7	OR : 10	
GRIS	8	8		
BLANC	9	9		

Fig.45 : Les 4 anneaux de couleur qui apparaissent sur le corps d'une résistance servent à donneur sa valeur ohmique. Dans le tableau 6 nous reportons les valeurs standards.

fasse fondre l'étain utilisé pour les soudures.
Dans les fers à repasser aussi se trouve une résistance calculée de façon à ce que la plaque atteigne une température suffisante pour repasser nos vêtements sans les brûler (si le thermostat est bien réglé !).
Dans les ampoules se trouve une résistance de tungstène capable d'atteindre des températures élevées sans fondre. Les électrons en la surchauffant la rendent incandescente au point de lui faire émettre de la lumière.

Valeurs standards des résistances

Dans le commerce vous ne trouvez pas facilement n'importe quelle valeur ohmique, mais seulement les valeurs standards reportées dans le tableau 6 ci-dessous. Ces valeurs standards sont également appelées « progression E12 ».

1 Ω	10 Ω	100 Ω	1 kΩ	10 kΩ	100 kΩ	1 MΩ
1,2 Ω	12 Ω	120 Ω	1,2 kΩ	12 kΩ	120 kΩ	1,2 MΩ
1,5 Ω	15 Ω	150 Ω	1,5 kΩ	15 kΩ	150 kΩ	1,5 MΩ
1,8 Ω	18 Ω	180 Ω	1,8 kΩ	18 kΩ	180 kΩ	1,8 MΩ
2,2 Ω	22 Ω	220 Ω	2,2 kΩ	22 kΩ	220 kΩ	2,2 MΩ
3,3 Ω	33 Ω	330 Ω	3,3 kΩ	33 kΩ	330 kΩ	3,3 MΩ
3,9 Ω	39 Ω	390 Ω	3,9 kΩ	39 kΩ	390 kΩ	3,9 MΩ
4,7 Ω	47 Ω	470 Ω	4,7 kΩ	47 kΩ	470 kΩ	4,7 MΩ
5,6 Ω	56 Ω	560 Ω	5,6 kΩ	56 kΩ	560 kΩ	5,6 MΩ
6,8 Ω	68 Ω	680 Ω	6,8 kΩ	68 kΩ	680 kΩ	6,8 MΩ
8,2 Ω	82 Ω	820 Ω	8,2 kΩ	82 kΩ	820 kΩ	8,2 MΩ

Tableau 6

Code des couleurs

Quand vous achèterez vos premières résistances, vous découvrirez que leur valeur ohmique n'est pas marquée sur leur corps avec des chiffres, mais avec quatre bandes de couleurs.

Au départ, cela n'est pas sans causer quelques difficultés au débutant, car, ne sachant pas encore déchiffrer ces couleurs, il ne peut connaître la valeur ohmique de la résistance dont il dispose.

Chaque couleur apparaissant sur le corps d'une résistance correspond à un nombre précis comme vous pouvez le voir sur la figure 45 et dans le tableau 7.

Pour se souvenir de l'association couleur-nombre, on peut prendre comme couleur de départ le vert, qui correspond au nombre 5, puis mémoriser que, en descendant vers le nombre 0, le jaune correspond au 4, l'orange correspond au 3, etc. :

vert = 5
jaune = 4
orange = 3
rouge = 2
marron = 1
noir = 0

tandis qu'en montant vers le 9, le bleu correspond au 6, le violet correspond au 7, etc. :

bleu = 6
violet = 7
gris = 8
blanc = 9

Les trois premières bandes sur chaque résistance (voir figure 45), nous permettent d'obtenir un nombre de plusieurs chiffres qui nous indique la valeur réelle en ohm.

1ère bande - Premier chiffre du nombre. Si cette bande est de couleur rouge, le premier chiffre est un 2, si cette bande est de couleur bleue, ce chiffre est un 6, etc.

2ème bande - Deuxième chiffre du nombre.
Si cette bande est de couleur rouge, le second chiffre est à nouveau un 2, si elle est violette, c'est un 7, etc.

Couleurs	1ère	2ème	3ème	4ème
noir	=	0	=	=
marron	1	1	0	=
rouge	2	2	00	=
orange	3	3	000	=
jaune	4	4	0 000	=
vert	5	5	00 000	=
bleu	6	6	000 000	=
violet	7	7	=	=
gris	8	8	=	=
blanc	9	9	=	=
or	=	=	divise par 10	tolér. 5 %
argent	=	=	divise par 100	tolér. 10 %

Tableau 8

3ème bande - Les zéros à ajouter au nombre déterminé avec les deux premières couleurs.
Si on trouve un marron, on doit ajouter un zéro, si on trouve un rouge on doit ajouter deux zéros, si on trouve un orange on doit ajouter trois zéros, si on trouve un jaune on doit ajouter quatre zéros, si on trouve un vert on doit ajouter cinq zéros, si on trouve un bleu on doit ajouter six zéros.
Si la troisième bande est de couleur or, nous devons diviser par 10 le nombre obtenu avec les deux premières bandes.
Si la troisième bande est de couleur argent, nous devons diviser par 100 le nombre obtenu avec les deux premières bandes.

4ème bande - Cette dernière bande indique la tolérance de la résistance, c'est-à-dire de combien peut varier en plus ou en moins le nombre (valeur ohmique) que nous avons obtenu avec les trois premières bandes.
Si la quatrième bande est de couleur or, la résistance a une tolérance de 5 %.
Si la quatrième bande est de couleur argent, la résistance a une tolérance de 10 %.

Si, par exemple, avec le code des couleurs nous avons obtenu une valeur de 2 200 ohms et que la quatrième bande est de couleur or, la résistance n'aura jamais une valeur inférieure à 2 090 ohms ni supérieure à 2 310 ohms, en effet :

(2 200 : 100) x 5 = 110 Ω

2 200 - 110 = 2 090 Ω
2 200 + 110 = 2 310 Ω

Si la quatrième bande est de couleur argent, la résistance n'aura jamais une valeur inférieure à 1 980 ohms ni supérieure à 2 420 ohms, en effet :

(2 200 : 100) x 10 = 220 Ω

2 200 - 220 = 1 980 Ω
2 200 + 220 = 2 420 Ω

Dans le tableau 8 nous reportons les valeurs numériques qui nous servent pour obtenir la valeur ohmique d'une résistance en fonction des couleurs sur son corps avec les quatre bandes.

Comme vous pouvez le remarquer, vous ne trouverez jamais une troisième

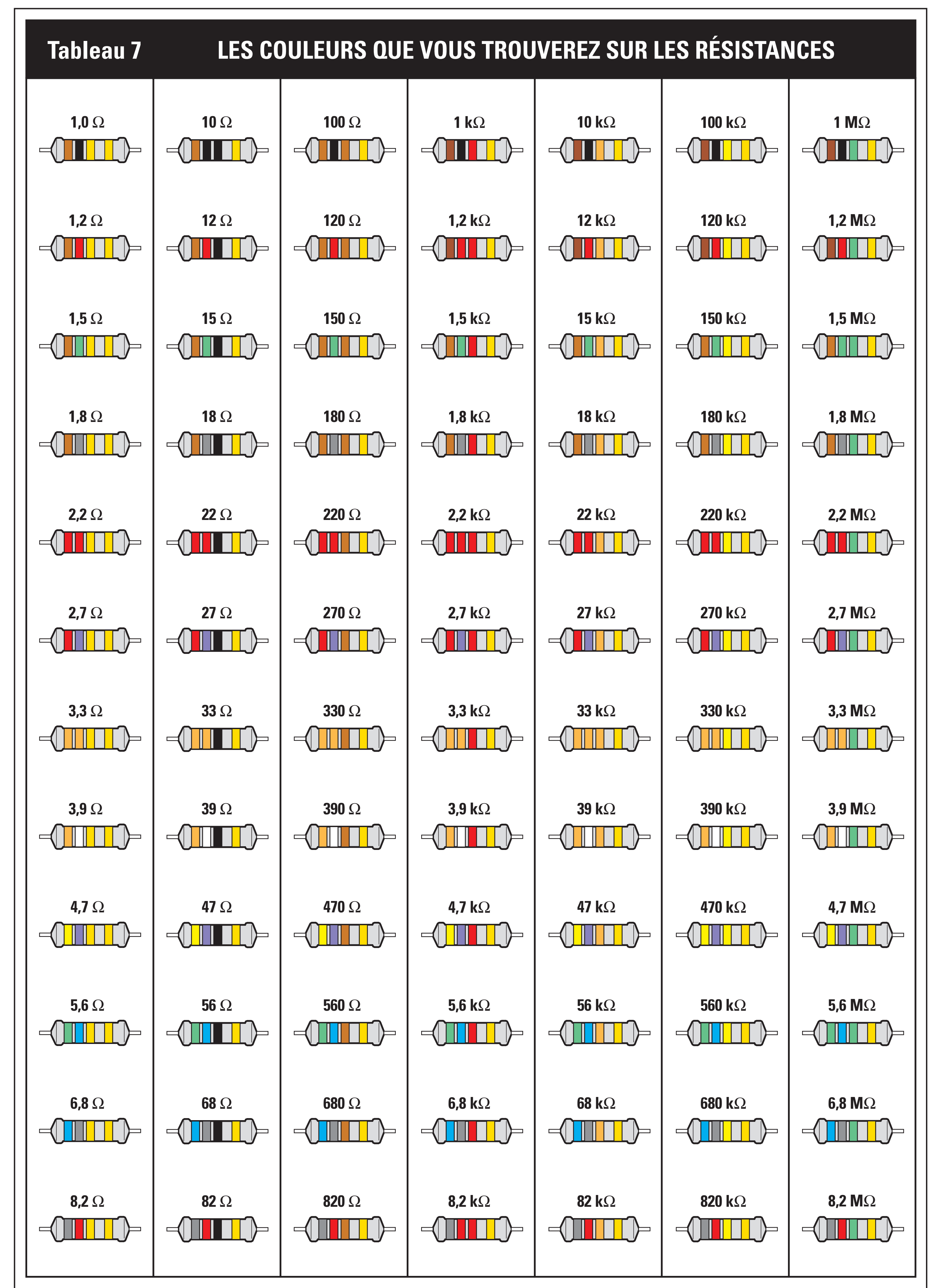


Tableau 7 — LES COULEURS QUE VOUS TROUVEREZ SUR LES RÉSISTANCES

1,0 Ω	10 Ω	100 Ω	1 kΩ	10 kΩ	100 kΩ	1 MΩ
1,2 Ω	12 Ω	120 Ω	1,2 kΩ	12 kΩ	120 kΩ	1,2 MΩ
1,5 Ω	15 Ω	150 Ω	1,5 kΩ	15 kΩ	150 kΩ	1,5 MΩ
1,8 Ω	18 Ω	180 Ω	1,8 kΩ	18 kΩ	180 kΩ	1,8 MΩ
2,2 Ω	22 Ω	220 Ω	2,2 kΩ	22 kΩ	220 kΩ	2,2 MΩ
2,7 Ω	27 Ω	270 Ω	2,7 kΩ	27 kΩ	270 kΩ	2,7 MΩ
3,3 Ω	33 Ω	330 Ω	3,3 kΩ	33 kΩ	330 kΩ	3,3 MΩ
3,9 Ω	39 Ω	390 Ω	3,9 kΩ	39 kΩ	390 kΩ	3,9 MΩ
4,7 Ω	47 Ω	470 Ω	4,7 kΩ	47 kΩ	470 kΩ	4,7 MΩ
5,6 Ω	56 Ω	560 Ω	5,6 kΩ	56 kΩ	560 kΩ	5,6 MΩ
6,8 Ω	68 Ω	680 Ω	6,8 kΩ	68 kΩ	680 kΩ	6,8 MΩ
8,2 Ω	82 Ω	820 Ω	8,2 kΩ	82 kΩ	820 kΩ	8,2 MΩ

Fig. 46 : Dans ce tableau nous reportons les 4 couleurs présentes sur les résistances. Si la 3ème bande est de couleur « or », la valeur des deux premiers chiffres doit être divisée par 10.

bande de couleur violette, grise ou blanche.
Si la troisième bande apparaît de couleur noire, souvenez-vous que cela ne signifie rien.
Par exemple, une résistance de 56 ohms a sur son corps, ces couleurs : vert (5) - bleu (6) - noir (=).

Comment lire le code des couleurs

Un autre problème que rencontrent les débutants, c'est de comprendre de quel côté du corps on doit commencer à lire la valeur de la résistance, c'est-à-dire par quelle couleur commencer.

En considérant que la quatrième bande est toujours de couleur or ou argent (voir tableau 8), la couleur par laquelle commencer sera toujours celle du côté opposé.

Supposons cependant que sur une résistance cette quatrième bande se soit effacée ou que l'on confonde le rouge et l'orange ou bien le vert et le bleu.
Dans ces cas-là, vous devez toujours vous souvenir que le nombre que vous obtiendrez doit correspondre à l'une des valeurs standards reportées dans le tableau 6.

Petit test

A=	rouge	rouge	orange	or
B=	argent	rouge	violet	jaune
C=	marron	noir	noir	or
D=	gris	rouge	marron	argent
E=	orange	orange	vert	or
F=	marron	noir	or	or
G=	jaune	violet	jaune	argent

Entraînez-vous à « lire » la valeur ohmique de ces résistances, puis comparez vos réponses avec celles qui suivent.

Solution

A = 2 - 2 - 000 soit 22 000 Ω ou 22 kΩ, tolérance 5 %.

B = une résistance ne peut jamais avoir la 1ère bande de couleur argent, vous devrez donc la retourner pour connaître sa valeur :
4 - 7 - 00 soit 4 700 Ω ou 4,7 kΩ, tolérance 10 %.

C = 1 - 0 - troisième bande noir donc rien soit 10 Ω, tolérance 5 %.

D = 8 - 2 - 0 soit 820 Ω tolérance 10 %.

E = 3 - 3 - 00 000 soit 3 300 000 Ω ou 3,3 MΩ, tolérance 5 %.

F = 1 - 0 - le troisième chiffre est une bande or qui divise par 10, la résistance sera de 10 : 10 = 1 Ω avec une tolérance de 5 %.

G = 4 - 7 - 0 000 soit 470 000 Ω ou 470 kΩ, tolérance 10 %.

Résistance en fil

La valeur des résistances en fil, qui ont toujours de basses valeurs ohmiques, est imprimée sur leur corps avec des chiffres (voir figure 47).

Donc, si sur le corps apparaît 0,12 Ω ou 1,2 Ω ou bien 10 Ω, il s'agit de la valeur ohmique exacte de la résistance.

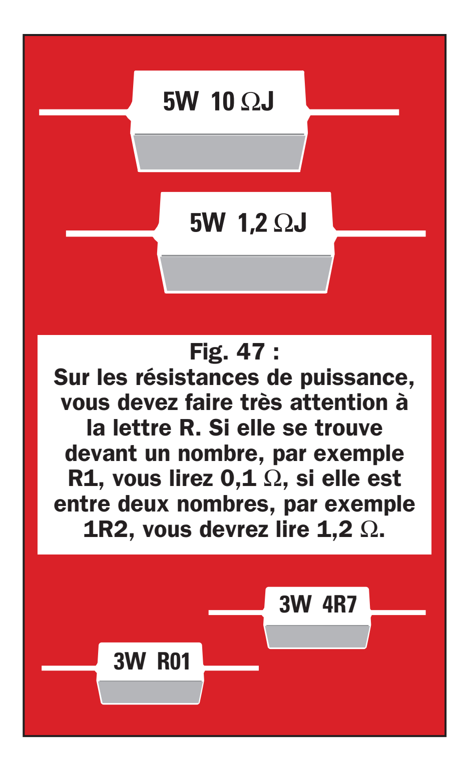


Fig. 47 : Sur les résistances de puissance, vous devez faire très attention à la lettre R. Si elle se trouve devant un nombre, par exemple R1, vous lirez 0,1 Ω, si elle est entre deux nombres, par exemple 1R2, vous devrez lire 1,2 Ω.

Considérez toutefois que si devant le nombre se trouve la lettre R, celle-ci doit être remplacée par zéro (0), tandis que si le R est placé entre deux nombres, il doit être remplacé par une virgule (,).

Si sur le corps apparaît R01 ou R12 ou R1 ou encore R10, vous devez remplacer le R avec le chiffre 0, c'est pourquoi la valeur de ces résistances est de 0,01 Ω, 0,12 Ω, et 0,10 Ω.

Note : 0,1 Ω = 0,10 Ω.

Si au contraire la lettre R est placée entre deux nombres, par exemple 1R2 ou 4R7 ou bien 2R5, vous devez la remplacer par une virgule (,).

Par conséquent la valeur de ces résistances est de 1,2 Ω, 4,7 Ω, et 2,5 Ω.

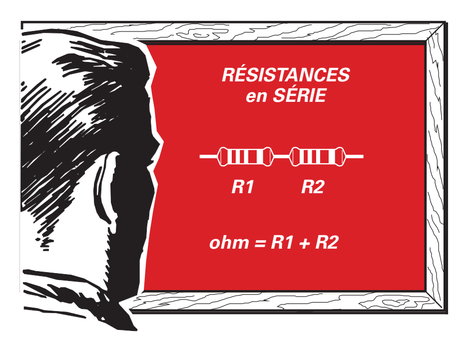
Résistances en série ou parallèle

En reliant deux résistances en série, la valeur ohmique de R1 s'additionne à la valeur de R2.

Par exemple, si R1 a une valeur de 1 200 Ω et R2 de 1 500 Ω, nous obtiendrons une résistance équivalente Re de la valeur suivante :

$$Re = R1 + R2$$

1 200 + 1 500 = 2 700 Ω ou 2,7 kΩ



En reliant deux résistances en parallèle, la valeur ohmique totale sera inférieure à la valeur ohmique de la résistance la plus petite.

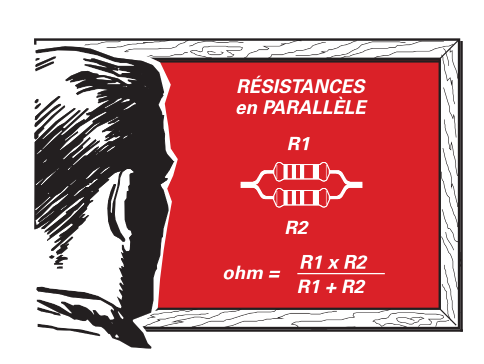
Donc si R1 est de 1 200 Ω et R2 de 1 500 Ω, nous obtiendrons une valeur inférieure à 1 200 Ω.

La formule, pour connaître la valeur de la résistance équivalente Re que l'on obtient en reliant en parallèle deux résistances, est la suivante :

$$Re = (R1 \times R2) : (R1 + R2)$$

Dans notre cas nous aurons une résistance de :

(1 200 x 1 500) : (1 200 + 1 500) = 666,66 Ω



Pour comprendre la différence entre un branchement en série et un branchement en parallèle, regardez les exemples des figures 48 et 49.

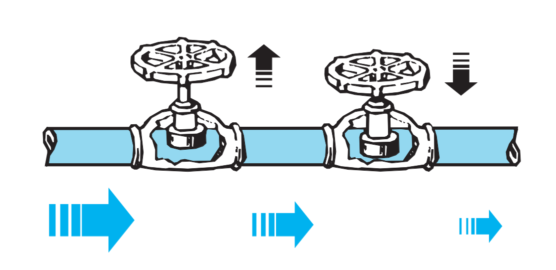


Fig. 48 : On peut comparer deux résistances reliées en « série » à deux robinets placés l'un après l'autre. Dans ces conditions, le flux de l'eau est déterminé par le robinet le « plus fermé » donc qui présente la plus forte résistance à l'eau.

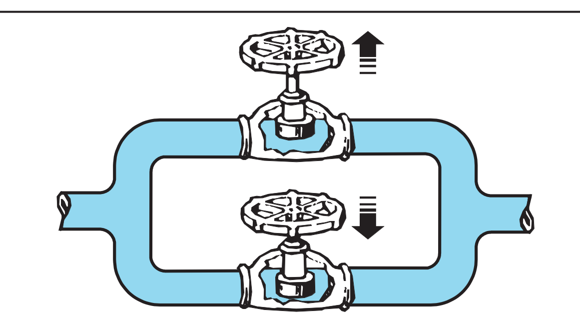


Fig. 49 : On peut comparer deux résistances reliées en « parallèle » à deux robinets placés comme sur le dessin. Dans ces conditions, le flux de l'eau d'un robinet s'additionne à celui de l'autre.

Trimmers

Quand dans un circuit électronique on a besoin d'une résistance capable de fournir de façon graduelle une valeur ohmique variant de 0 ohm à une valeur maximum donnée, on doit utiliser un composant appelé trimmer ou résistance ajustable.
Ce composant est représenté dans les schémas électriques avec le même symbole qu'une résistance, auquel on ajoute une flèche centrale, appelée curseur (voir figure 50).
Quand vous voyez ce symbole, sachez que la valeur ohmique de la résistance peut varier d'un minimum à un maximum en tournant simplement son curseur d'une extrémité à l'autre.

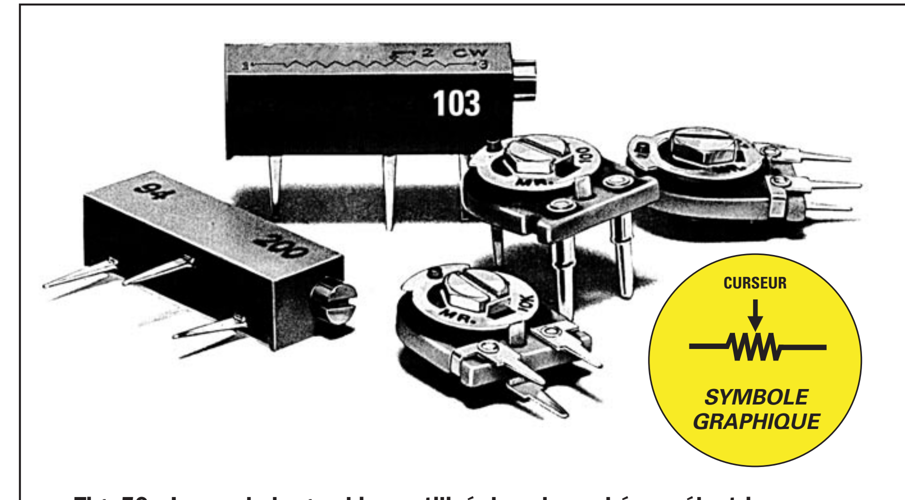


Fig. 50 : Le symbole graphique utilisé dans les schémas électriques pour représenter n'importe quel trimmer ou potentiomètre est identique à celui d'une quelconque résistance avec, en plus, une « flèche ».

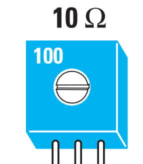
Un trimmer de 1 000 ohms peut être réglé de façon à obtenir une valeur de 0,5, 1, 2, 3, 10 Ω ou de 240,3 Ω, 536,8 Ω, 910,5 Ω, 999,9 Ω, jusqu'à arriver à un maximum de 1 000 Ω.
Avec un trimmer de 47 kΩ, nous pourrons obtenir n'importe quelle valeur ohmique comprise entre 0 et 47 kΩ.

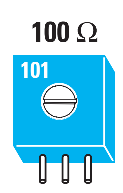
Les trimmers, généralement fabriqués au Japon, à Taïwan, en Corée ou à Hong Kong, portent un code très simple : le dernier chiffre du sigle est remplacé par un nombre qui indique combien de zéros il faut ajouter aux deux premiers chiffres.

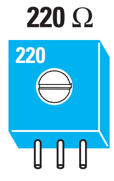
1 ajouter 0
2 ajouter 00
3 ajouter 000
4 ajouter 0000
5 ajouter 00000

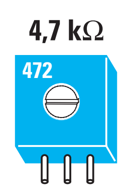
Donc, si sur le corps du trimmer il est écrit 151 la valeur ohmique exacte est de 150 Ω.

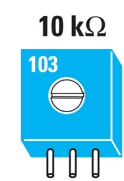
S'il est écrit 152, après le nombre 15, on doit ajouter deux zéros, ainsi la valeur ohmique exacte est de 1 500 Ω ou 1,5 kΩ. S'il est écrit 223, après le nombre 22, on doit ajouter trois zéros, ainsi la valeur ohmique exacte est de 22 000 Ω ou 22 kΩ.

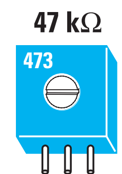
10 Ω


100 Ω


220 Ω


4,7 kΩ


10 kΩ


47 kΩ


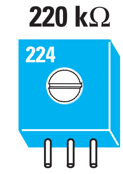
220 kΩ


Fig. 51 : Sur presque tous les trimmers, la valeur ohmique est indiquée par 3 chiffres. Les deux premiers sont significatifs, tandis que le troisième indique combien de « zéro » il faut ajouter aux deux premiers. Si 100 est inscrit sur le corps, la valeur du trimmer est de 10 Ω. S'il est marqué 101, la valeur du trimmer est de 100 Ω, s'il est marqué 472, la valeur est 4,7 kΩ.

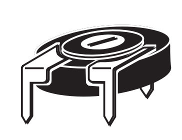
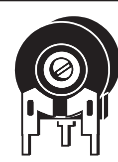
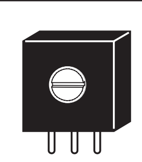
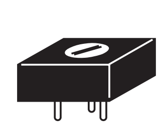
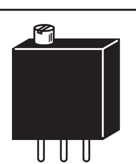







Fig. 52 : On peut trouver des trimmers de formes et de dimensions différentes, avec des sorties disposées de façon à pouvoir les monter sur un circuit imprimé à la verticale ou à l'horizontale.

Potentiomètres

Les potentiomètres ont la même fonction que les trimmers. Ils ne se différencient de ceux-ci que par leur curseur relié à un axe sur lequel il est possible de fixer un bouton (voir figure 53).

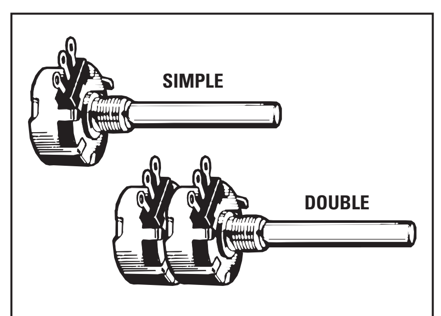


Fig. 53 : Comme vous le voyez sur le dessin, les potentiomètres peuvent être simples ou doubles.

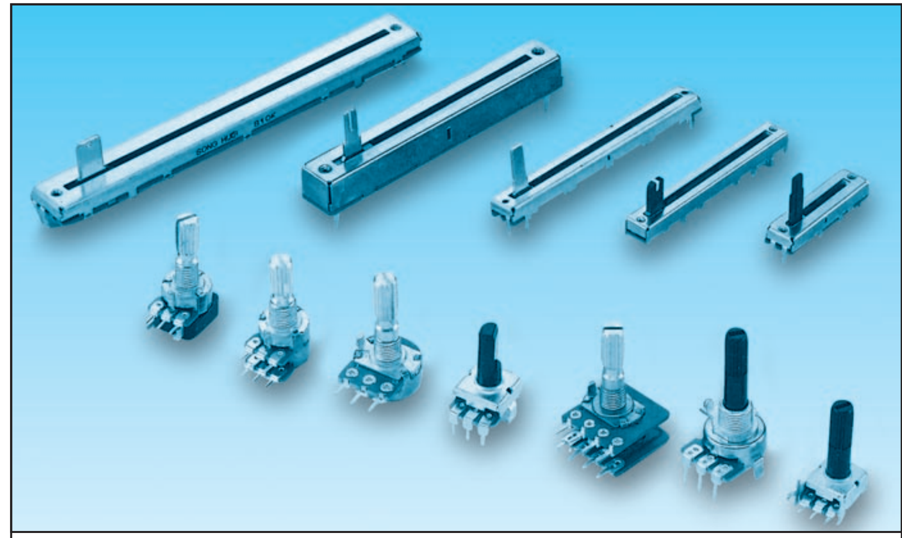


Fig.54 : Sur cette photo vous pouvez voir les différentes formes de potentiomètres à glissière et rotatifs. Les potentiomètres peuvent être de type « linéaire » ou « logarithmique ».

Dans toutes les radios, les amplificateurs ou les enregistreurs sont présents des potentiomètres pour régler le volume du son, ainsi que les tons hauts et les tons bas.

Les potentiomètres, rotatifs ou à glissière (voir figure 54), peuvent être linéaires ou logarithmiques.

Les potentiomètres linéaires présentent la caractéristique de voir leur résistance ohmique varier de façon linéaire, tandis que les potentiomètres logarithmiques varieront de façon non linéaire.

Si on tourne le bouton d'un potentiomètre linéaire de 10 kΩ d'un demi-tour et que l'on mesure la valeur ohmique entre la broche centrale et chacune des broches droite et gauche, on découvrira que les valeurs mesurées sont exactement la moitié de la valeur totale, c'est-à-dire 5 kΩ (voir figure 56).

Si on fait de même avec un potentiomètre logarithmique de même valeur, on trouvera d'un côté 9 kΩ et de l'autre 1 kΩ (voir figure 57).
Si on tourne le potentiomètre de 3/4 de tour, sa valeur ohmique sera alors de 3,5 kΩ d'un côté, et de 6,5 kΩ de l'autre (voir figure 58).

Les potentiomètres logarithmiques sont utilisés pour le contrôle du volume, de façon à pouvoir augmenter l'intensité du son de manière logarithmique. En effet, notre oreille ne perçoit un doublement du volume sonore que si on quadruple la puissance du son.

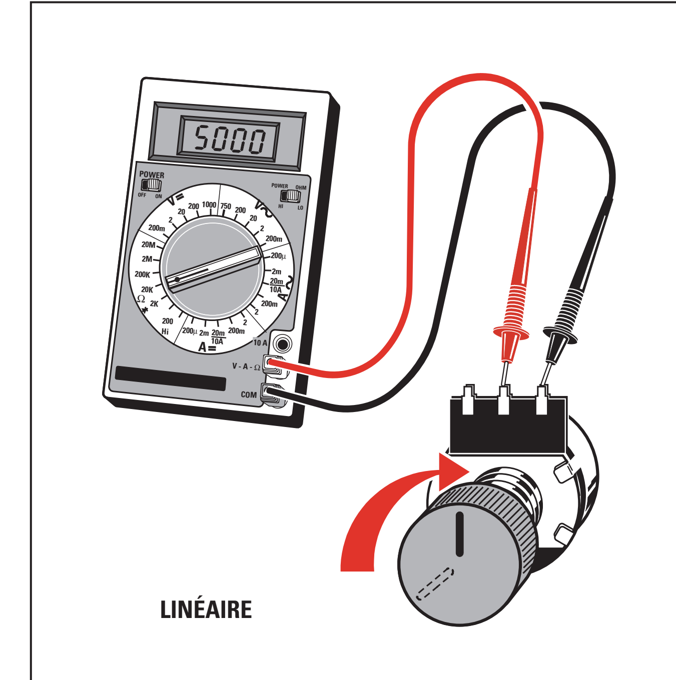


Fig. 55 : En tournant à mi-course l'axe d'un potentiomètre « linéaire », la résistance ohmique entre la sortie centrale et les deux sorties des extrémités, est exactement la moitié de la valeur totale. Donc, pour un potentiomètre de 10 kΩ on mesurera entre la sortie centrale et chaque extrémité 5 000 Ω.

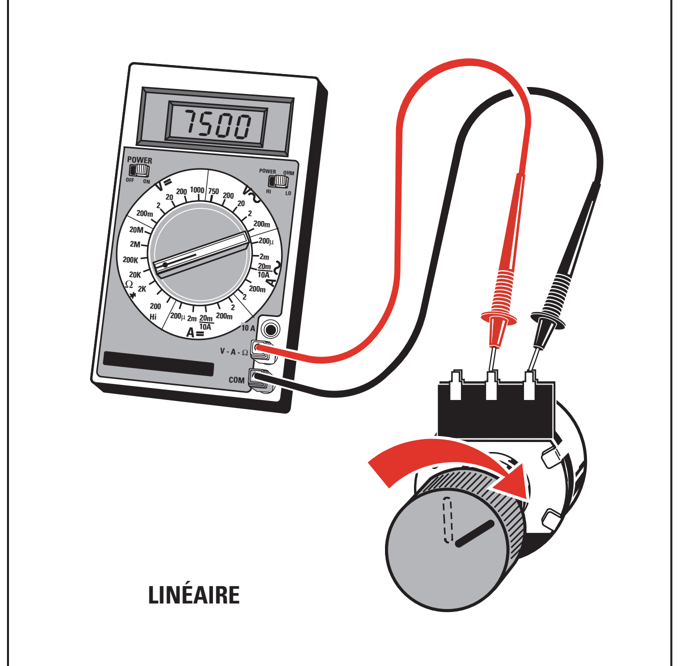


Fig. 56 :
Si on tourne l'axe d'un potentiomètre « linéaire » de 10 kΩ de trois-quarts de tour, entre la sortie centrale et celle de droite, on relèvera une valeur de 7 500 Ω et entre la sortie centrale et celle de gauche, une valeur de 2 500 Ω.

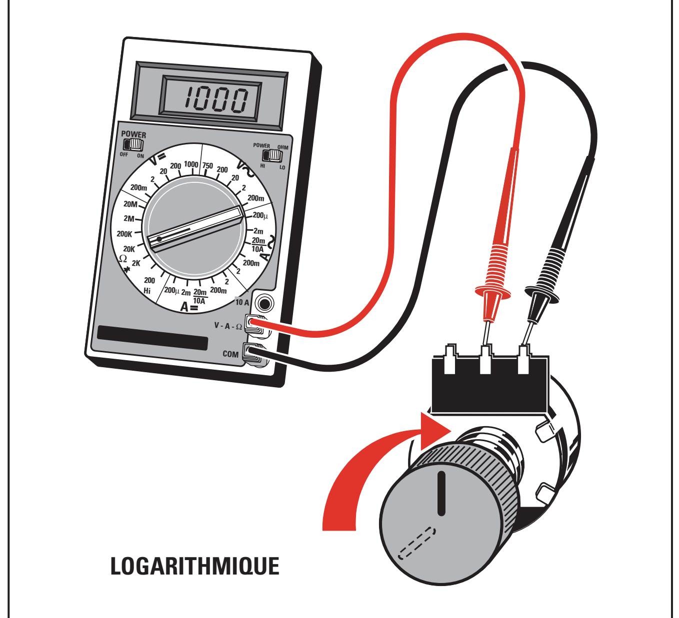


Fig. 57 : En tournant à mi-course l'axe d'un potentiomètre « logarithmique », la résistance ohmique entre la sortie centrale et les deux extrémités N'EST PAS exactement la moitié. On relèvera donc 9 000 Ω d'un côté et 1 000 Ω de l'autre.

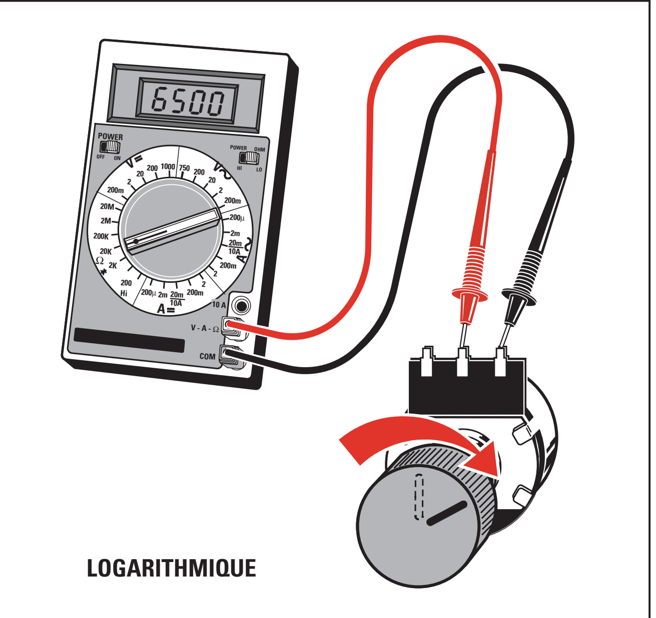


Fig. 58 : Si on tourne l'axe d'un potentiomètre « logarithmique » de 10 kΩ de trois-quarts de tour, on relèvera entre la sortie centrale et celle de gauche une valeur de 3 500 Ω et entre la sortie centrale et celle de droite, une valeur de 6 500 Ω.

Photorésistances

Les photorésistances sont des composants photosensibles dont la valeur ohmique varie en fonction de l'intensité de lumière qu'ils reçoivent.

Une photorésistance mesurée dans l'obscurité a une valeur d'environ 1 mégohm. Si elle reçoit un peu de lumière sa valeur descendra immédiatement aux environs de 400 kΩ. Si l'intensité de la lumière augmente, sa valeur descendra vers les 80 kΩ. Si elle reçoit une lumière forte, sa résistance descendra jusqu'à quelques dizaines d'ohms (voir figure 60).

Les photorésistances sont utilisées pour la réalisation d'automatismes capables de fonctionner en présence d'une source lumineuse.
Prenons l'exemple de nombreux ascenseurs. Dans un des montants de porte

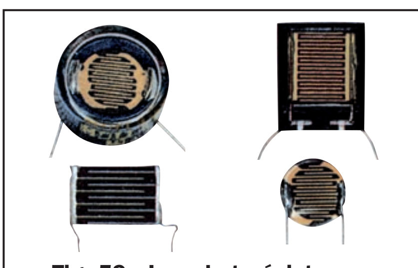


Fig. 59 : Les photorésistances peuvent avoir un corps de forme rectangulaire ou circulaire.

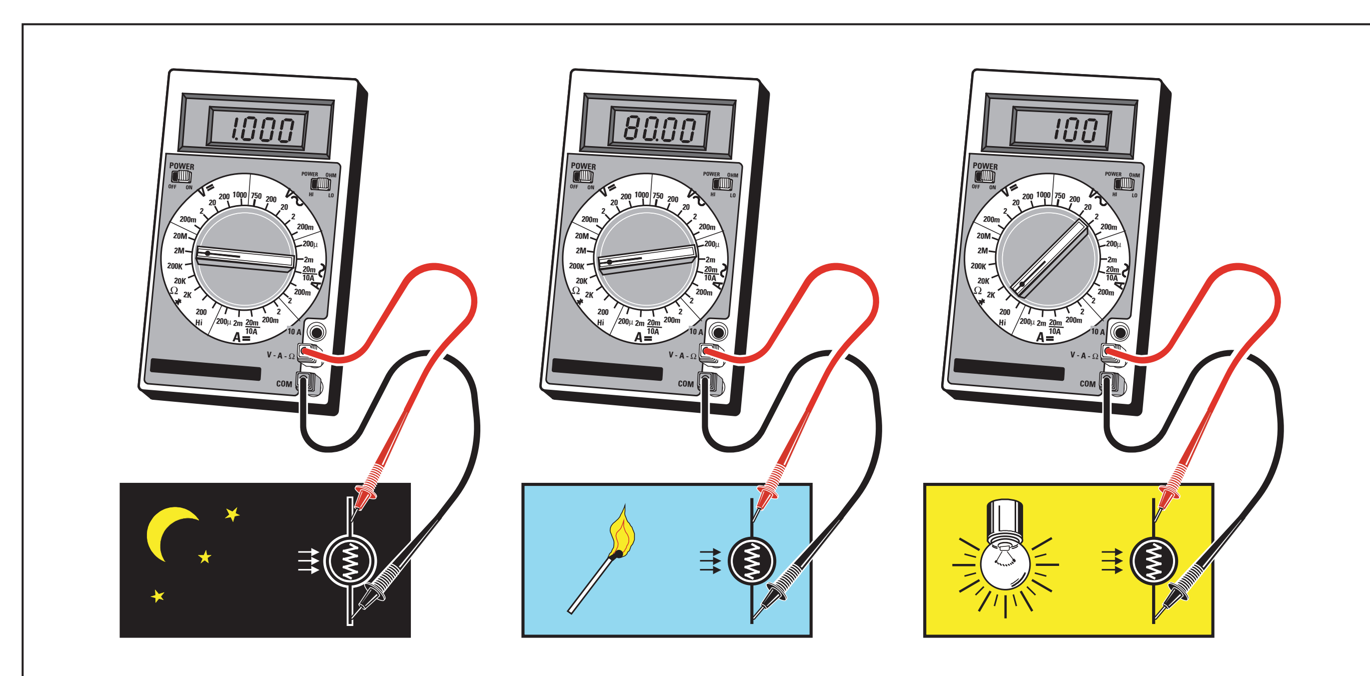


Fig. 60 : Si on mesure la résistance d'une photorésistance placée dans l'obscurité, on relèvera une valeur d'environ 1 MΩ. Si son corps reçoit un peu de lumière, sa résistance descendra aux environs de 80 kΩ et si elle reçoit encore plus de lumière, sa résistance descendra en dessous de 100 Ω.

se trouve une photorésistance et, dans le montant opposé, dans le même axe, une ampoule est positionnée de façon à illuminer la partie sensible de cette photorésistance.

Lorsqu'un usager monte dans l'ascenseur, son corps interrompt le faisceau de lumière qui frappe la photorésistance interdisant ainsi le fonctionnement de la commande de fermeture de la porte. Sans connaître le principe que nous venons de décrire, vous avez certainement déjà mis la main sur cette photorésistance afin de maintenir la porte de l'ascenseur ouverte pour attendre un retardataire !

De même, pour allumer les ampoules d'un lampadaire quand la nuit tombe, on utilise une photorésistance reliée à un circuit commandant un relais.

Note :
N'essayez pas de relier directement en série une photorésistance et une ampoule en espérant qu'elle s'allumera en éclairant la photorésistance avec une forte lumière.
La photorésistance n'est pas capable de supporter le courant nécessaire à alimenter le filament de l'ampoule et le résultat sera désastreux !
Dans les prochaines leçons nous vous apprendrons à réaliser un circuit capable d'allumer une ampoule au changement d'intensité lumineuse sans risque de transformer l'ensemble en chaleur et en lumière !

2ème exercice

Même si les exercices que nous vous proposerons au cours de nos leçons peuvent vous sembler élémentaires, ils vous seront très utiles car ils vous aideront à mémoriser des concepts théoriques habituellement difficiles à retenir.

Avec cet exercice vous pouvez voir comment il est possible de réduire le flux des électrons à l'aide d'une résistance, et par conséquent, comment réduire la valeur d'une tension.
Dans un magasin vendant du matériel électrique ou plus simplement dans votre grande surface habituelle, achetez une pile de 4,5 volts et une ampoule de même voltage ou bien alors, une de ces ampoules de 6 volts utilisées dans les feux des bicyclettes.
Commencez par relier directement l'ampoule aux bornes de la pile et observez la lumière qu'elle émet.
Maintenant, si vous reliez une seule résistance de 10 Ω 1 watt en série avec l'ampoule (voir figure 61), vous pouvez tout de suite constater comment sa luminosité se réduit.
En effet, cette résistance, en freinant le flux des électrons, a réduit la valeur de la tension qui alimente l'ampoule.
Si vous reliez en parallèle sur la première résistance une seconde résistance de 10 Ω 1 watt (voir figure 62), la luminosité augmente car vous avez doublé le flux des électrons.

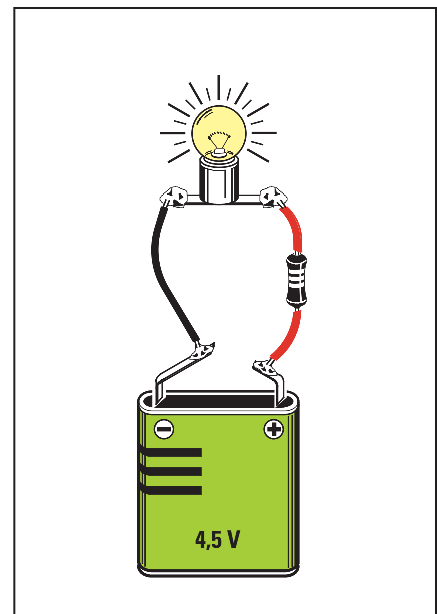


Fig. 61 : Relions d'abord une ampoule directement aux sorties d'une pile. Puis relions, en série avec l'ampoule, une résistance de 10 Ω 1 watt. Nous verrons diminuer la luminosité car la résistance réduit le flux des électrons.

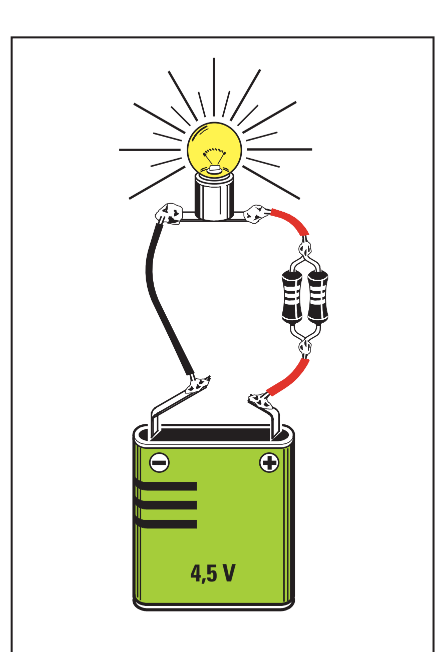


Fig. 62 : Si nous relions en parallèle deux résistances de 10 Ω, nous verrons augmenter la luminosité de l'ampoule parce que nous aurons doublé le flux des électrons par rapport à l'expérience précédente.

En effet, deux résistances de 10 ohms reliées en parallèle donnent une valeur totale de :

R totale = (R1 x R2) : (R1 + R2)

(10 x 10) : (10 + 10) = 5 Ω

Si vous reliez ces deux résistances en série (voir figure 63), vous obtiendrez une luminosité moindre par rapport à la situation précédente, parce que vous avez doublé la valeur ohmique de la résistance en réduisant ainsi le flux des électrons.

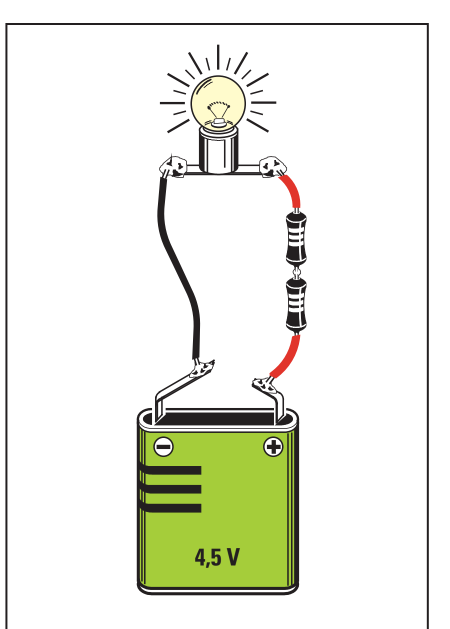


Fig. 63 : Si nous relions en série deux résistances de 10 ohms, nous observerons une diminution importante de la luminosité de l'ampoule car nous aurons réduit de moitié le flux des électrons par rapport à la première expérience.

En effet, deux résistances de 10 Ω reliées en série, donnent une valeur totale de :

R totale = R1 + R2

10 + 10 = 20 Ω

En doublant la valeur ohmique, vous avez réduit de moitié le flux des électrons et donc réduit la tension aux extrémités de l'ampoule.

Symboles graphiques

Dans les pages qui suivent, vous trouverez la majeure partie des symboles graphiques utilisés dans les schémas électriques, à quelques écarts près. Les abréviations ne sont données qu'à titre indicatif et peuvent varier d'un schéma ou d'un constructeur à l'autre. ◆

SYMBOLE	ABR.	DESCRIPTION	COMMENT ILS SE PRÉSENTENT
	R	RÉSISTANCE	5W 1,2 J
	R ou P	TRIMMER ou RÉSISTANCE AJUSTABLE	
	P ou POT.	POTENTIOMÈTRE	
	PR	PHOTORÉSISTANCE	
	C	CONDENSATEUR CÉRAMIQUE ou POLYESTER	
	CV	CONDENSATEUR VARIABLE	
	C	CONDENSATEUR CHIMIQUE	
A K	D	DIODE SILICIUM	
A K	DZ	DIODE ZENER	
A K	V	DIODE VARICAP	
A K	LED	DIODE LED	
A K	PD	PHOTODIODE	
B C E	T	TRANSISTOR NPN	
G D S	T ou FET	RÉSISTANCE	

SYMBOLE	ABR.	DESCRIPTION	COMMENT ILS SE PRÉSENTENT
A G K	TH	THYRISTOR	
A2 G A1	TR ou TRIAC	TRIAC	
	DISP.	AFFICHEUR	
	F	FUSIBLE	
	S	INTERRUPTEUR	
	S	INVERSEUR	
	BP	BOUTON POUSSOIR	
	S	INTERRUPTEUR DOUBLE	
	S	INVERSEUR DOUBLE	
2 3 1 4 C	S	COMMUTATEUR ROTATIF	
~ – + ~	PONT	PONT DE DIODES	
	T ou TR	TRANSFORMATEUR	

SYMBOLE	ABR.	DESCRIPTION	COMMENT ILS SE PRÉSENTENT
	RL	RELAIS 1 CIRCUIT	
	RL	RELAIS 2 CIRCUITS	
	L	BOBINE ou SELF	
	CH ou CHOC	SELF DE CHOC	
	MF ou TR	MOYENNE FRÉQUENCE	
	QZ ou XTAL	QUARTZ	
	F ou FC	FILTRE CÉRAMIQUE	Type CFS 455 D CERAMIC FILTER muRata
+	BAT.	BATTERIE ou PILE	
	L ou LI	LAMPE ou AMPOULE à INCANDESCENCE	
	L ou N	AMPOULE NÉON	
	MIC.	MICROPHONE	
	BZ	BUZZER	
	EC.	CASQUE ou ÉCOUTEUR	
	HP	HAUT-PARLEUR	

Apprendre l'électronique en partant de zéro

LE CONDENSATEUR unité de mesure le FARAD

En fait, si l'unité de mesure d'un condensateur est bien le farad, cette unité est trop grande et l'on utilise principalement les sous-multiples pico, nano et microfarad.

Physiquement, un condensateur se compose de deux lamelles métalliques séparées par un élément isolant en papier, plastique, mica, céramique, oxyde de tantale ou, tout simplement, de l'air.

Si nous relions un condensateur aux broches d'une pile fournissant une tension continue, les électrons négatifs se déplacent rapidement vers la lamelle A pour essayer de rejoindre le pôle positif. Mais, comme vous pouvez l'imaginer, ils n'y parviendront pas car les deux lamelles sont isolées (voir figure 64).

Les condensateurs ont une valeur qui est exprimée en picofarad, nanofarad et microfarad. Cette valeur est souvent indiquée sur le corps du condensateur d'une façon difficile à déchiffrer. Pour vous faciliter la lecture, vous trouverez, dans cette troisième leçon, deux tableaux très utiles qui donnent la correspondance entre les marquages des condensateurs et leur correspondance en valeur exacte.

Pour convertir une valeur de condensateur entre les différents sous-multiples on utilise les formules suivantes :

picofarad = nanofarad : 1 000
nanofarad = picofarad x 1 000

picofarad = microfarad : 1 000 000
microfarad = picofarad x 1 000 000

Pour éviter toute sorte de confusion, nous avons complété cette table avec le tableau 9. En faisant référence aux exemples reportés sur ce tableau, vous remarquerez que pour convertir 0,47 nanofarad en picofarad, il suffit de multiplier par 1 000, on obtient ainsi :

0,47 x 1 000 = 470 picofarads.

Par conséquent, 470 picofarads seront égaux à :
470 : 1 000 = 0,47 nanofarad.

En déconnectant le condensateur de la pile, les deux lamelles resteront chargées, c'est-à-dire que les électrons (négatifs) resteront sur la lamelle A tant que le circuit restera ouvert.

Si nous relions un condensateur à un générateur de tension alternative, nous obtenons un flux normal d'électrons, qui se déplacent d'une lamelle vers l'autre comme si l'élément isolant n'existait pas.

En pratique, le flux d'électrons ne s'écoule pas comme dans un conducteur normal, mais il trouve une résistance proportionnelle à la capacité du condensateur et à la fréquence de la tension alternative fournie par le générateur.

Plus la capacité du condensateur et la fréquence de la tension sont importantes, plus le nombre d'électrons qui passe d'une lamelle vers l'autre est important.

En regardant les figures 65, 66 et 67, vous pouvez mieux comprendre comment la tension alternative peut se transmettre d'une lamelle à l'autre.

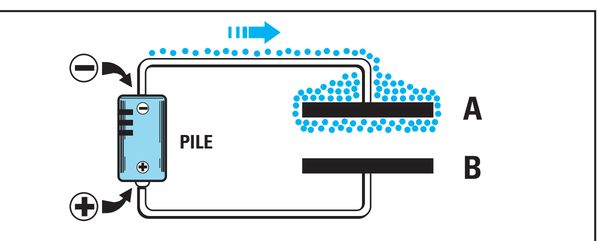


Figure 64 : En appliquant une tension continue aux bornes d'un condensateur, les électrons négatifs se déplacent vers la lamelle A mais ils ne pourront pas rejoindre la lamelle B car elle est isolée.

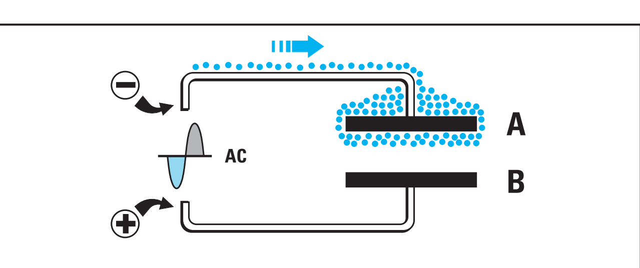


Figure 65 : En appliquant une tension alternative aux bornes d'un condensateur, les électrons négatifs s'accumulent sur la lamelle A mais ils ne pourront pas rejoindre la lamelle B.

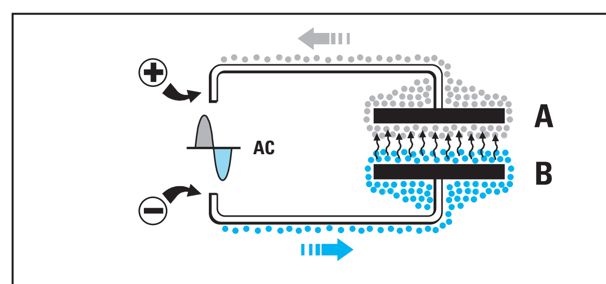


Figure 66 : Quand la tension alternative inverse sa polarité, les électrons de la lamelle A se déplacent dans la direction opposée tandis que la lamelle B sera chargée d'électrons négatifs.

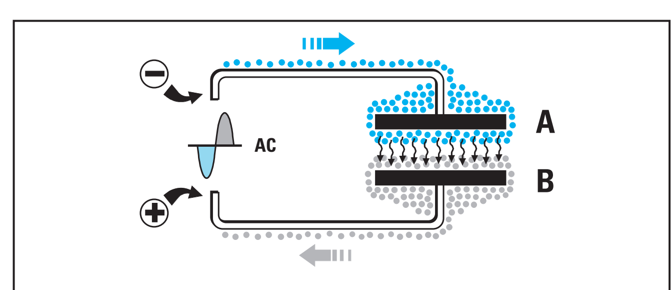


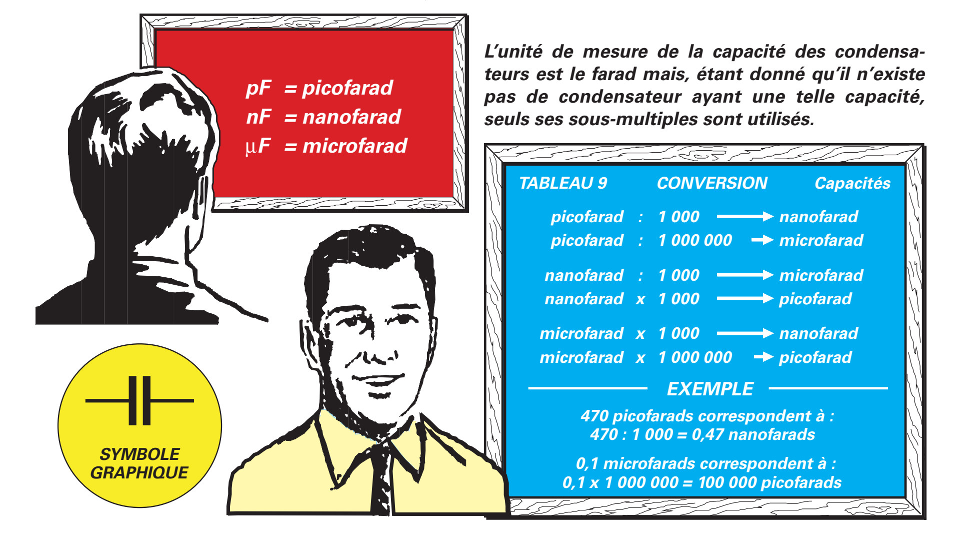
Figure 67 : Quand la tension alternative inversera à nouveau sa polarité, les électrons de la lamelle B partiront dans la direction opposée tandis que la lamelle A sera à nouveau chargée d'électrons négatifs.

En supposant qu'au départ le câble connecté à la lamelle A ait une polarité négative, les électrons se déplaceront vers cette lamelle sans pouvoir franchir l'isolant (voir figure 65).

Puisque la tension alternative voit sa polarité s'inverser sur le même câble, au rythme de sa fréquence, à l'alternance suivante, celui-ci aura une polarité positive et les électrons de la lamelle A repartiront dans la direction opposée. En même temps, sur l'autre câble, relié à la lamelle B, la tension passera à la polarité négative et, pour la même raison, les électrons se dirigeront vers la lamelle B mais, cette fois, le flux d'électron parviendra à s'écouler (voir figure 66).

Au nouveau changement de polarité, le flux d'électrons se déplacera dans la direction opposée, etc. (voir figure 67).

Note : Pour différentes raisons, la lettre grecque « µ » est quelquefois remplacée par la lettre « m » ou la lettre « u ». Lorsque dans un schéma ou dans une liste de composants vous trouverez le sigle mF ou uF, vous pourrez traduire par microfarad (µF).



L'unité de mesure de la capacité des condensateurs est le farad mais, étant donné qu'il n'existe pas de condensateur ayant une telle capacité, seuls ses sous-multiples sont utilisés.

TABLEAU 9	CONVERSION	Capacités
picofarad	: 1 000	→ nanofarad
picofarad	: 1 000 000	→ microfarad
nanofarad	: 1 000	→ microfarad
nanofarad	x 1 000	→ picofarad
microfarad	x 1 000	→ nanofarad
microfarad	x 1 000 000	→ picofarad

EXEMPLE

470 picofarads correspondent à :
470 : 1 000 = 0,47 nanofarads

0,1 microfarads correspondent à :
0,1 x 1 000 000 = 100 000 picofarads

Code des condensateurs

La capacité d'un condensateur est indiquée sur son corps avec un sigle qui n'est pas toujours facile à interpréter.

Chaque fabricant utilisant une méthode différente pour indiquer les valeurs de ses condensateurs, nous avons essayé dans les tableaux 11 et 12 de vous donner les correspondances.

En recherchant dans ces tableaux le sigle inscrit sur votre condensateur, vous pourrez connaître rapidement sa valeur, exprimée en picofarad.

Code américain

Les valeurs de capacité comprises entre 1 pF et 8,2 pF sont indiquées sur le corps du condensateur avec un point (.) remplaçant la virgule (,). Il suffit de remplacer le point (.) par une virgule (,). Par exemple, 1.2 sera lu 1,2 picofarad.

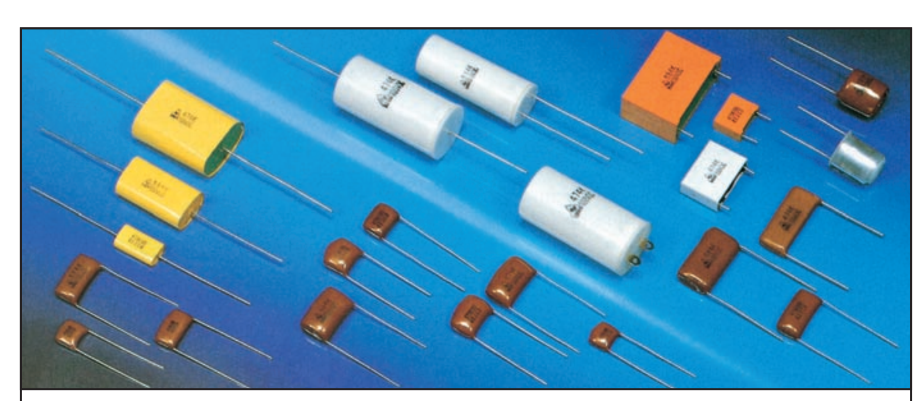


Figure 68 : Bien que les formes des condensateurs polyesters puissent être très variées, la pellicule isolante placée entre leurs lamelles est toujours composée d'une matière en plastique.

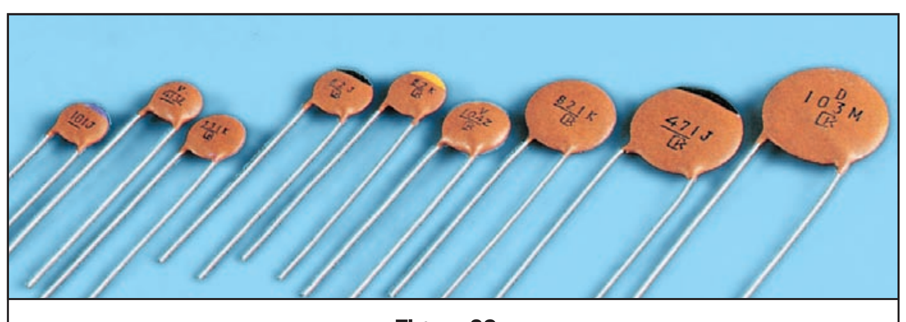


Figure 69 :
Les condensateurs céramiques possèdent une pellicule isolante en céramique.

1,0 pF	10 pF	100 pF	1 nF	10 nF	100 nF	1 µF
1,2 pF	12 pF	120 pF	1,2 nF	12 nF	120 nF	1,2 µF
1,5 pF	15 pF	150 pF	1,5 nF	15 nF	150 nF	1,5 µF
1,8 pF	18 pF	180 pF	1,8 nF	18 nF	180 nF	1,8 µF
2,2 pF	22 pF	220 pF	2,2 nF	22 nF	220 nF	2,2 µF
2,7 pF	27 pF	270 pF	2,7 nF	27 nF	270 nF	2,7 µF
3,3 pF	33 pF	330 pF	3,3 nF	33 nF	330 nF	3,3 µF
3,9 pF	39 pF	390 pF	3,9 nF	39 nF	390 nF	3,9 µF
4,7 pF	47 pF	470 pF	4,7 nF	47 nF	470 nF	4,7 µF
5,6 pF	56 pF	560 pF	5,6 nF	56 nF	560 nF	5,6 µF
6,8 pF	68 pF	680 pF	6,8 nF	68 nF	680 nF	6,8 µF
8,2 pF	82 pF	820 pF	8,2 nF	82 nF	820 nF	8,2 µF

Tableau 10 : Valeurs standards des condensateurs.

Les valeurs comprises entre 10 pF et 820 pF, sont indiquées sans le sigle « pF ».
Celles comprises entre 1 000 pF et 820 000 pF sont exprimées en microfarad, grâce à l'utilisation d'un point (.) à la place du 0, lorsqu'il s'agit d'une valeur inférieure à 1. Par exemple, s'il est inscrit .0012, .01 ou .82 sur le corps du condensateur, vous devez lire 0,0012 microfarad, 0,01 microfarad ou 0,82 microfarad.

Code européen

Les valeurs de capacité comprises entre 1 pF et 8,2 pF sont indiquées sur le corps du condensateur avec un « p » remplaçant la virgule. Par exemple, 1p0, 1p5 et 2p7 doivent être lus 1,0, 1,5 et 2,7 picofarads.

Les valeurs comprises entre 10 pF et 82 pF sont indiquées sans le sigle « pF ».
Les capacités comprises entre 100 pF et 820 pF sont exprimées en nanofarad et indiquées avec la lettre « n ». Par exemple, si les valeurs n15, n22 ou n56 apparaissent sur le corps du condensateur, vous devez lire 0,15, 0,22 ou 0,56 nanofarad.
Dans les valeurs de capacité comprises entre 1 000 pF et 8 200, la virgule est remplacée par la lettre « n », qui suit le nombre.
Par exemple, 1n, 1n2, 3n3 ou 6n8 doivent être lus 1,0, 1,2, 3,3 et 6,8 nanofarads et seront équivalents à 1 000, 1 200, 3 300 et 6 800 picofarads.
Enfin, dans les valeurs de capacité comprises entre 10 000 pF et 820 000 pF, la lettre « n » positionnée après le chiffre indique que l'unité de mesure est le nanofarad. Par exemple, les valeurs 10n, 56n ou 100n doivent être lues 10, 56 et 100 nanofarad, soit 10 000, 15 000 et 100 000 picofarads.
Pour les valeurs de capacité comprises entre 1 000 et 8 200 pF, les fabricants allemands préfèrent utiliser l'unité de mesure microfarad en positionnant la lettre « u » ou la lettre « m » devant le chiffre : u0012, u01, u1 ou u82 doivent être lus 0,0012, 0,01, 0,1 et 0,82 microfarad.

Code asiatique

Les valeurs de capacité comprises entre 1 pF et 82 pF sont indiquées sans le sigle « pF ».
Dans celles comprises entre 100 pF et 820 pF, le dernier 0 (zéro) est remplacé par le nombre « 1 » pour indiquer qu'il faut insérer un 0 après les deux premiers chiffres.
Dans les valeurs de 1 000 pF à 8 200 pF, les deux derniers 0 sont remplacés par le nombre « 2 ».
Dans les capacités de 10 000 pF à 82 000 pF, les trois derniers 0 sont remplacés par le nombre « 3 ».
Dans les capacités de 100 000 pF à 820 000 pF, les quatre derniers 0 sont remplacés par le nombre « 4 ». Par exemple, les valeurs 101, 152, 123, et 104, doivent être lues respectivement 100 pF, 1 500 pF, 12 000 pF et 100 000 pF.

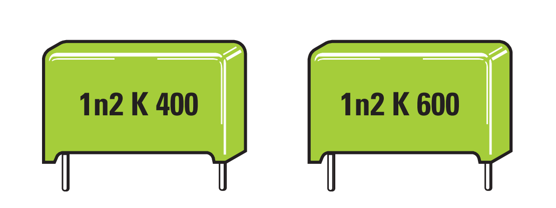


Figure 70 : Le sigle « 1n2 » indique que ces deux condensateurs ont une capacité de 1 200 pF (voir figure 84). La lettre « K » indique une tolérance de « 10 % » tandis que les nombres 400 et 600 indiquent les tensions maximales de travail en volt.

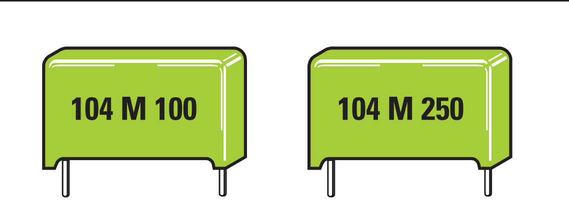


Figure 71 : Le nombre « 104 » indique que ces condensateurs ont une capacité de 100 000 pF (voir figure 84). La lettre « M » indique une tolérance de « 20 % » tandis que les nombres 100 et 250 indiquent les tensions maximales de travail.

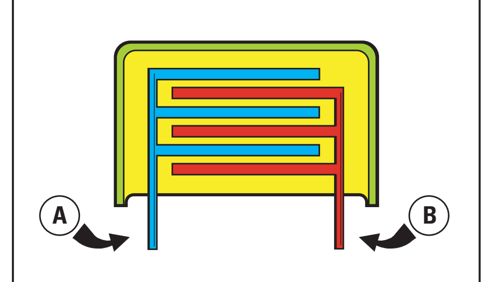


Figure 72 : L'épaisseur de la pellicule isolante, placée entre les deux lamelles A et B, détermine la tension maximale de travail. Plus le nombre de lamelles présentes dans le condensateur est grand, plus la capacité est importante.

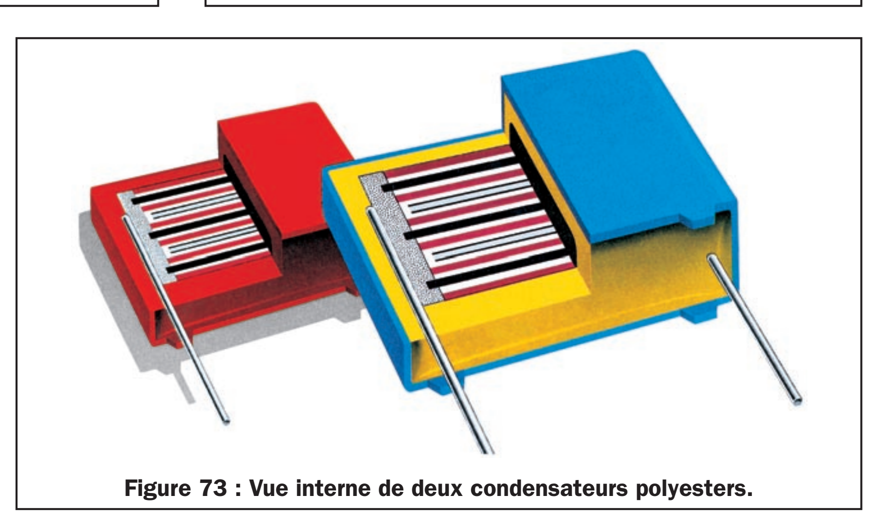


Figure 73 : Vue interne de deux condensateurs polyesters.

Note importante

Les lettres M – K – J peuvent apparaître sur le corps du condensateur, suivies d'un chiffre. Par exemple :

104 M 100 – 104 K 100

Ces lettres n'expriment pas l'unité de mesure mais elles sont utilisées pour indiquer la tolérance.

M = tolérance inférieure à 20 %
K = tolérance inférieure à 10 %
J = tolérance inférieure à 5 %

Le nombre qui suit ces lettres, indique la valeur de la tension maximale applicable aux bornes du condensateur. Le nombre 100 indiquera donc que la tension continue maximale qui pourra être appliquée au condensateur sera égale à 100 volts.

Condensateurs ajustables

Lorsque dans un circuit électronique il est prévu de faire varier la valeur d'un condensateur, on doit utiliser un condensateur ajustable (voir figure 74).

La représentation graphique de ce composant est identique à celle d'un condensateur fixe sur laquelle a été ajoutée une flèche centrale (voir figure 74). Dans certains schémas, la pointe de la flèche est remplacée par un point, la pointe de flèche étant réservée, dans ce cas, à la désignation d'un condensateur variable.





Figure 74 : Symbole graphique d'un condensateur ajustable. La flèche centrale indique que la capacité est variable.

La flèche indique que la capacité peut varier en tournant son axe d'une extrémité à l'autre. Par exemple, un condensateur ajustable de 100 picofarads peut être réglé de façon à obtenir une valeur comprise entre 3 et 100 picofarads.

Les condensateurs ajustables peuvent avoir une capacité maximale de 200 picofarads mais, dans la plupart des cas, cette valeur est très basse et ne dépasse que rarement les 10, 20, 30, 50 ou 80 picofarads.

Condensateurs variables

Pour obtenir une capacité plus importante, il faut augmenter la taille des lames du condensateur. Dans la figure 75, vous pouvez voir un ancien modèle de condensateur variable dont les dimensions étaient très importantes. Aujourd'hui, ces condensateurs variables ne sont plus guère utilisés que dans des applications où les courants sont très importants comme en amplification haute fréquence à lampes. Dans les applications où les courants sont faibles, ils sont remplacés par des diodes varicap (diodes à capacité variable), de dimensions microscopiques.

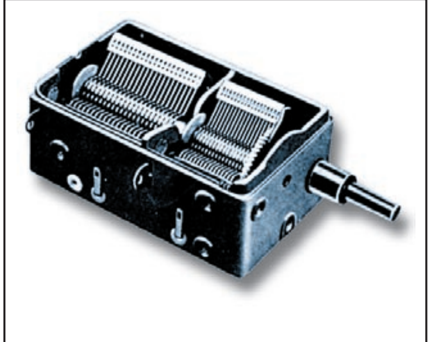


Figure 75 : Un condensateur variable.

Condensateurs électrolytiques

Dans la plupart des circuits électroniques, outre les condensateurs non polarisés, vous trouverez également des condensateurs électrolytiques polarisés, repérable à leur symbole « + » (voir figure 78).

Les condensateurs électrolytiques se différencient des autres condensateurs par la matière isolante qui les compose et par la capacité maximale qu'il est possible d'obtenir.

Dans les condensateurs polyesters, les lamelles sont séparées par de petites pellicules isolantes en plastique et leur valeur ne dépasse jamais 2 microfarads. Dans les condensateurs électrolytiques, on utilise de petites pellicules isolantes poreuses imbibées d'un

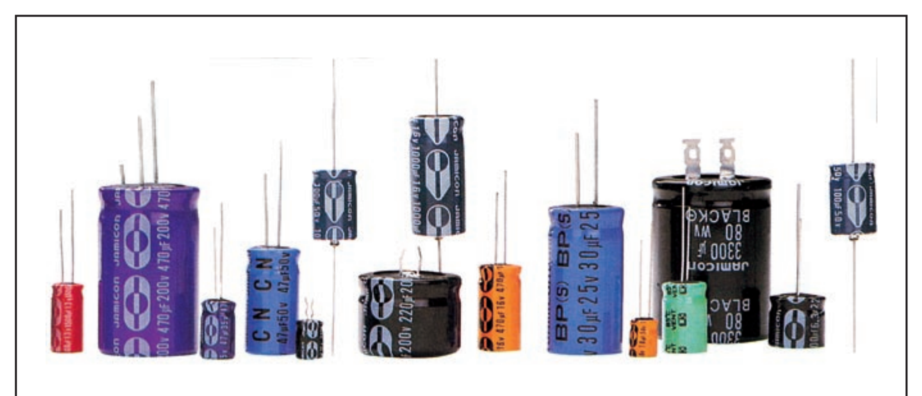


Figure 76 : Plusieurs condensateurs électrolytiques utilisés en électronique.

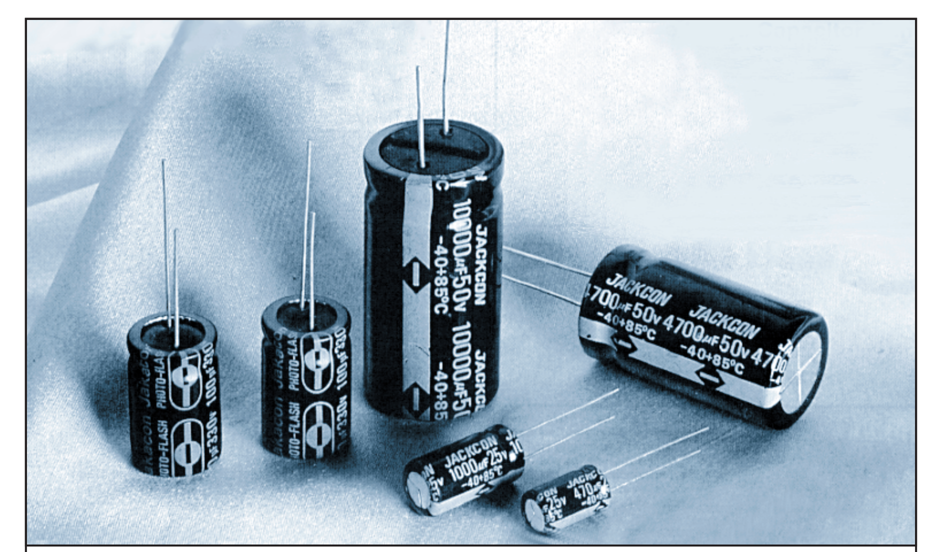


Figure 77 : Dans un condensateur électrolytique, il y a toujours une sortie positive et une sortie négative. Le négatif est normalement indiqué sur le corps du condensateur, tandis que le positif se distingue par une patte plus longue (voir figure 78).

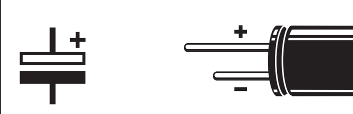


Figure 78 : Symbole graphique d'un condensateur électrolytique. La lamelle positive est celle de couleur blanche.

liquide électrolytique. On obtient de cette façon des valeurs de capacité très élevées (10, 33, 100, 470, 2 200, 4 700, 10 000 microfarads), tout en gardant de petites dimensions.

Le seul inconvénient des condensateurs électrolytiques est qu'ils sont polarisés. C'est pour cette raison que leurs sorties sont marquées par les signes « + » et « - », tout comme les piles.

Lors du montage de ces condensateurs sur un circuit électrique, vous devez veiller à bien respecter leur polarité. Si vous inversez le sens de montage, le condensateur risque d'être endommagé et, si la tension est très élevée, il peut même exploser.

La tension de travail est indiquée en clair sur tous les condensateurs électrolytiques. Il ne faut jamais dépasser cette valeur car les électrons pourraient perforer la pellicule isolante placée entre les lamelles et comme nous venons de le dire, endommager le condensateur ou provoquer son explosion.

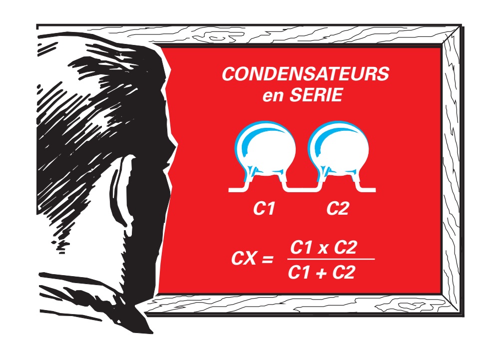
On trouve dans le commerce des condensateurs ayant des tensions de travail de 10, 16, 20, 25, 35, 63, 100, 250, 400 volts.

Un condensateur de 100 volts peut être utilisé dans tous les circuits alimentés par une tension ne dépassant pas 100 volts.

Condensateur en série ou en parallèle

En reliant deux condensateurs en série (voir figure 79), la valeur de la capacité globale sera inférieure à celle du condensateur ayant la capacité la plus faible.

Par exemple, si C1 a une valeur de 8 200 picofarads et C2 une valeur de 5 600 picofarads, la capacité globale qu'on obtiendra en reliant en série ces deux condensateurs sera inférieure à 5 600 picofarads.



Pour connaître la valeur exacte, utilisez la formule suivante :

Picofarad = (C1 x C2) : (C1 + C2)

Dans notre cas, la capacité globale sera égale à :

(8 200 x 5 600) : (8 200 + 5 600) = 3 327 pF

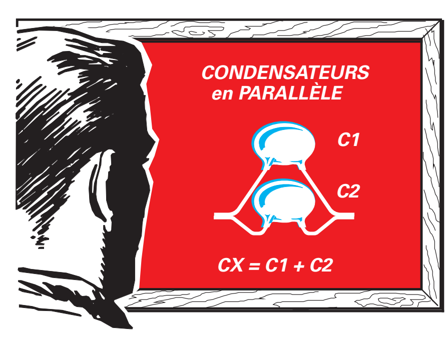
En reliant les deux mêmes condensateurs en parallèle, la capacité globale sera égale à :

Picofarad = C1 + C2

C'est-à-dire :

8 200 + 5 600 = 13 800 pF

Pour relier en série deux condensateurs électrolytiques, il faut relier le négatif du premier au positif du second (voir figure 80). Cet assemblage équivaudra à l'augmentation de la distance entre



les pellicules isolantes : la capacité du condensateur se réduit, tandis que la tension de travail augmente.

Si on relie en série deux condensateurs de 47 microfarads ayant une tension de travail de 100 volts, on obtiendra une capacité globale de 23,5 microfarads et une tension de travail de 200 volts.

Si l'on relie en parallèle deux condensateurs électrolytiques, la sortie positive du premier doit être reliée à la sortie positive du second. De même pour leurs sorties négatives (voir figure 82).

Cet assemblage équivaudra à l'augmentation de la distance entre les lamelles, sans que la distance entre les pellicules isolantes n'augmente.

La capacité globale du condensateur augmente, tandis que la tension de travail reste inchangée.

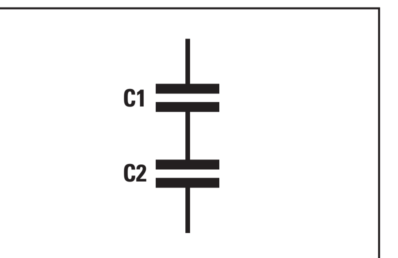


Figure 79 : En reliant en série deux condensateurs, la capacité globale sera inférieure à celle du condensateur ayant la capacité la plus petite.

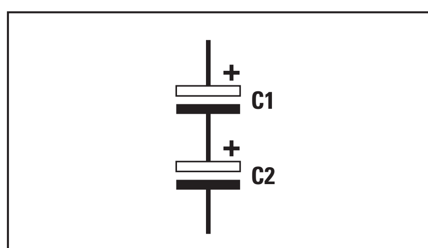


Figure 80 : Pour relier en série deux condensateurs électrolytiques, la sortie négative du premier doit être reliée à la sortie positive de l'autre.

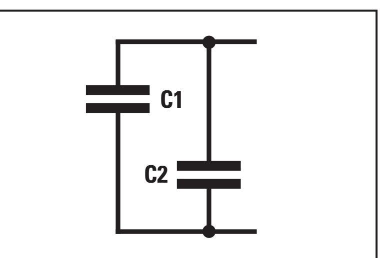


Figure 81 : En reliant en parallèle deux condensateurs polyesters ou céramiques, on obtient une capacité globale égale à la somme des deux capacités de C1 et C2.

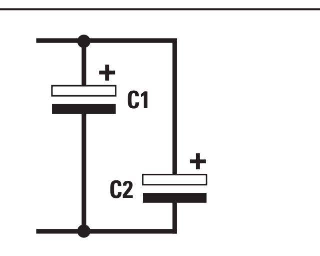


Figure 82 : Pour relier en parallèle deux condensateurs électrolytiques, il faut que les pôles positifs et les pôles négatifs soient reliés entre eux. La capacité globale sera égale à la somme de C1 et C2.

Si on relie en parallèle deux condensateurs de 47 microfarads ayant une tension de travail de 100 volts, on obtiendra une capacité globale de 94 microfarads et une tension de travail de 100 volts.

Tolérances, résistances et capacité

Tous les composants électroniques sont fabriqués avec une tolérance. Les résistances au carbone peuvent avoir des tolérances allant jusqu'à 5 ou 10 %.

Les condensateurs polyesters et céramiques peuvent atteindre des valeurs de tolérance entre 10 % et 20 %.

Les condensateurs électrolytiques, jusqu'au 40 % ou 50 %.

Ces tolérances ne compromettent pas le fonctionnement d'un appareil car, pendant la phase d'étude du projet, on prévoit toujours une oscillation des valeurs entre 10 % et 20 %.

Lorsque vous mesurerez une résistance dont la valeur ohmique déclarée par le fabricant est de 10 000 ohms, elle pourra, pour une tolérance de 10 %, avoir une valeur située entre 9 000 ohms et 11 000 ohms.

Le phénomène est le même pour les condensateurs : une capacité déclarée de 15 000 picofarads, pourra avoir une valeur réelle située entre un minimum de 13 500 picofarads et un maximum de 16 500 picofarads (voir figures 85, 86 et 87).

TABLEAU 11 condensateurs CÉRAMIQUES

1 pF	1	1p0	10 pF	10	100 pF	101	n10
1,2 pF	1.2	1p2	12 pF	12	120 pF	121	n12
1,5 pF	1.5	1p5	15 pF	15	150 pF	151	n15
1,8 pF	1.8	1p8	18 pF	18	180 pF	181	n18
2,2 pF	2.2	2p2	22 pF	22	220 pF	221	n22
2,7 pF	2.7	2p7	27 pF	27	270 pF	271	n27
3,3 pF	3.3	3p3	33 pF	33	330 pF	331	n33
3,9 pF	3.9	3p9	39 pF	39	390 pF	391	n39
4,7 pF	4.7	4p7	47 pF	47	470 pF	471	n47
5,6 pF	5.6	5p6	56 pF	56	560 pF	561	n56
6,8 pF	6.8	6p8	68 pF	68	680 pF	681	n68
8,2 pF	8.2	8p2	82 pF	82	820 pF	821	n82

Figure 83 :

Les capacités indiquées sur les corps des condensateurs céramiques peuvent être exprimées en « picofarad » ou en « nanofarad ».

Pour faciliter la compréhension, nous avons donné les correspondances en « picofarad » uniquement.

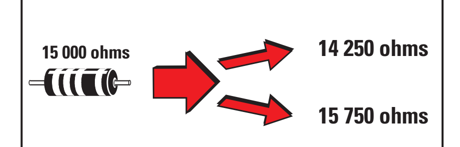


Figure 85 : Chaque composant a une tolérance. Ne soyez donc pas étonnés si une résistance de 15 000 ohms a une valeur réelle comprise entre 14 250 ohms et 15 750 ohms.

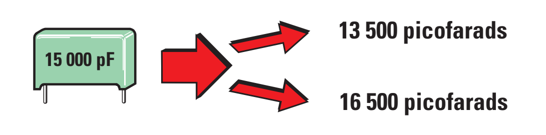


Figure 86 : Un condensateur de 15 000 picofarads ayant une tolérance de 10 % peut, en pratique, présenter une valeur comprise entre 13 500 picofarads et 16 500 picofarads.

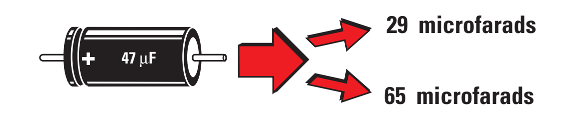


Figure 87 : Les condensateurs électrolytiques ont des tolérances comprises entre 40 et 50 %. C'est pourquoi, une capacité de 47 µF peut avoir une valeur réelle comprise entre 29 µF et 65 µF.

TABLEAU 12 condensateurs POLYESTERS

1 000 pF	102	1n	.001	10 000 pF	103	10n	.01	100 000 pF	104	100n	.1
1 200 pF	122	1n2	.0012	12 000 pF	123	12n	.012	120 000 pF	124	120n	.12
1 500 pF	152	1n5	.0015	15 000 pF	153	15n	.015	150 000 pF	154	150n	.15
1 800 pF	182	1n8	.0018	18 000 pF	183	18n	.018	180 000 pF	184	180n	.18
2 200 pF	222	2n2	.0022	22 000 pF	223	22n	.022	220 000 pF	224	220n	.22
2 700 pF	272	2n7	.0027	27 000 pF	273	27n	.027	270 000 pF	274	270n	.27
3 300 pF	332	3n3	.0033	33 000 pF	333	33n	.033	330 000 pF	334	330n	.33
3 900 pF	392	3n9	.0039	39 000 pF	393	39n	.039	390 000 pF	394	390n	.39
4 700 pF	472	4n7	.0047	47 000 pF	473	47n	.047	470 000 pF	474	470n	.47
5 600 pF	562	5n6	.0056	56 000 pF	563	56n	.056	560 000 pF	564	560n	.56
6 800 pF	682	6n8	.0068	68 000 pF	683	68n	.068	680 000 pF	684	680n	.68
8 200 pF	822	8n2	.0082	82 000 pF	823	82n	.082	820 000 pF	824	820n	.82

Figure 84 :

Sur le corps des condensateurs polyesters, les capacités peuvent être exprimées en « picofarad », « nanofarad » ou « microfarad ».

Pour faciliter la compréhension, nous avons donné les correspondances en « picofarad » uniquement.
Les lettres M – K – J, qui suivent la valeur de la capacité, indiquent la « tolérance » : M = 20 %, K = 10 %, J = 5 %.

LES DIODES

Les diodes au silicium

Le symbole graphique des diodes au silicium est illustré sur la figure 88.

Les diodes se présentent comme de petits cylindres en plastique ou en verre, et ont deux sorties appelées cathode et anode.

La bague, généralement noire ou blanche, présente sur une des extrémités de leur corps, indique la position de la cathode.

Une diode devient conductrice lorsque le pôle positif d'une tension continue est raccordé à son anode (voir figure 91).
Elle ne conduit pas si le pôle positif est relié à sa cathode (voir figure 92).

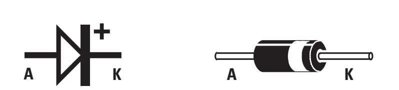


Figure 88 : Dans les schémas électriques, la diode est représentée par le symbole de gauche. La bague colorée sur le corps de la diode indique la cathode.

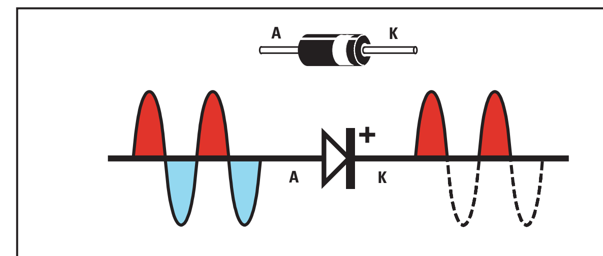


Figure 89 : Si on applique une tension « alternative » sur l'anode d'une diode, on ne retrouvera que les demi-ondes positives sur sa cathode (K).

Figure 90 : Si on applique une tension « alternative » sur la cathode d'une diode, on ne retrouvera que les demi-ondes négatives sur l'anode (A).

Les diodes sont utilisées en électronique pour redresser une tension alternative, c'est-à-dire pour prélever de celle-ci les demi-alternances positives ou négatives seulement.

Si on applique une tension alternative sur l'anode d'une diode, on retrouvera sur sa cathode les demi-alternances positives seulement (voir figure 89). A l'inverse, si la même tension est appliquée sur la cathode de la diode, on ne retrouvera que des demi-alternances négatives sur son anode (voir figure 90).

Il existe des diodes capables de redresser des tensions de 50 volts, avec un courant de 0,1 ampère maximum, et d'autres, capables de redresser des tensions de 400 ou 1 000 volts, avec des courants supérieurs à 10 ampères.

Encore une fois, les sigles indiqués sur les corps de ces composants varient en fonction du fabriquant (ex. BAY73, 1N4148, 1N4004, 1N4007, etc.). Il n'existe pas de règle, comme pour les résistances ou les condensateurs, donnant la valeur d'une diode en fonction de son marquage.

Pour connaître les caractéristiques techniques d'une diode, il est nécessaire de disposer de sa fiche technique ou d'un lexique des caractéristiques.

3ème exercice

Grâce à cette expérience, vous pourrez vérifier que la tension traverse la diode au silicium dans une seule direction.

Avant toute chose, procurez-vous une pile de 4,5 volts, une ampoule de 4,5 V au moins et une diode au silicium capable de supporter un courant de 1 ampère.

Ensuite, connectez la diode comme indiqué sur la figure 91. En reliant le pôle positif de la pile à l'anode de la diode, l'ampoule s'allume car la tension positive traversera la diode. Si on retourne la diode, l'ampoule ne s'allume pas car la tension positive ne la traverse plus (figure 92).

Pour avoir confirmation du phénomène, effectuez le montage de la figure 93 en respectant le sens des diodes et les polarités de la pile. Vous verrez alors l'ampoule A s'allumer tandis que l'ampoule B restera éteinte. Pour que cette dernière s'allume, il faudra inverser les polarités de la pile. L'ampoule A s'éteindra alors.

L'intensité lumineuse des ampoules restera inférieure à celle qu'on obtiendrait avec un branchement direct. Ceci est dû à la chute de tension dans la diode qui est d'environ 0,7 volt.

Figure 91 : En reliant en série une diode à une ampoule, celle-ci ne s'allumera que si la cathode est reliée au pôle positif de la pile (voir figure 90).

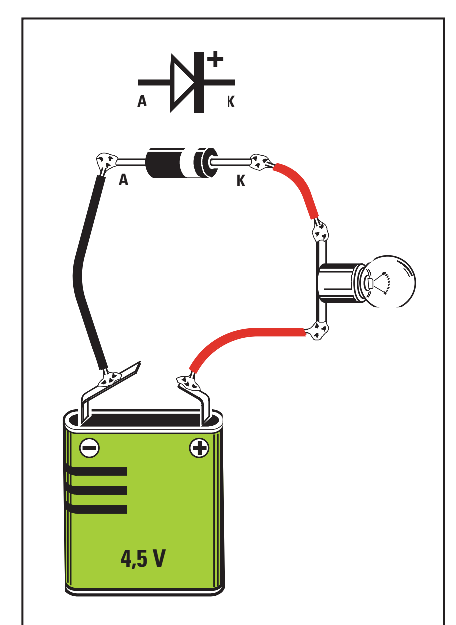


Figure 92 : Si l'on essaie de relier l'anode de la diode sur le pôle négatif de la pile, l'ampoule restera éteinte (voir figure 89).

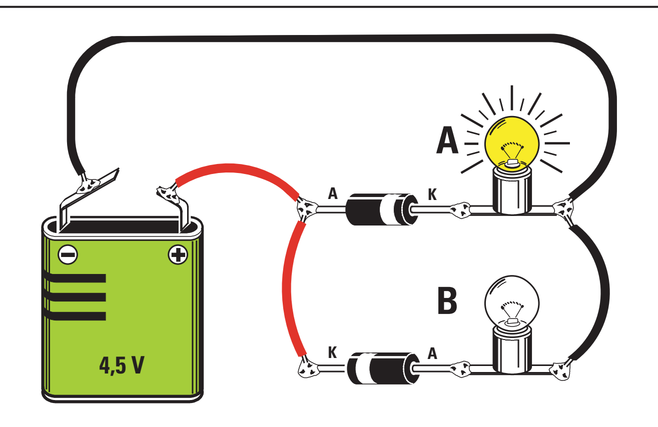
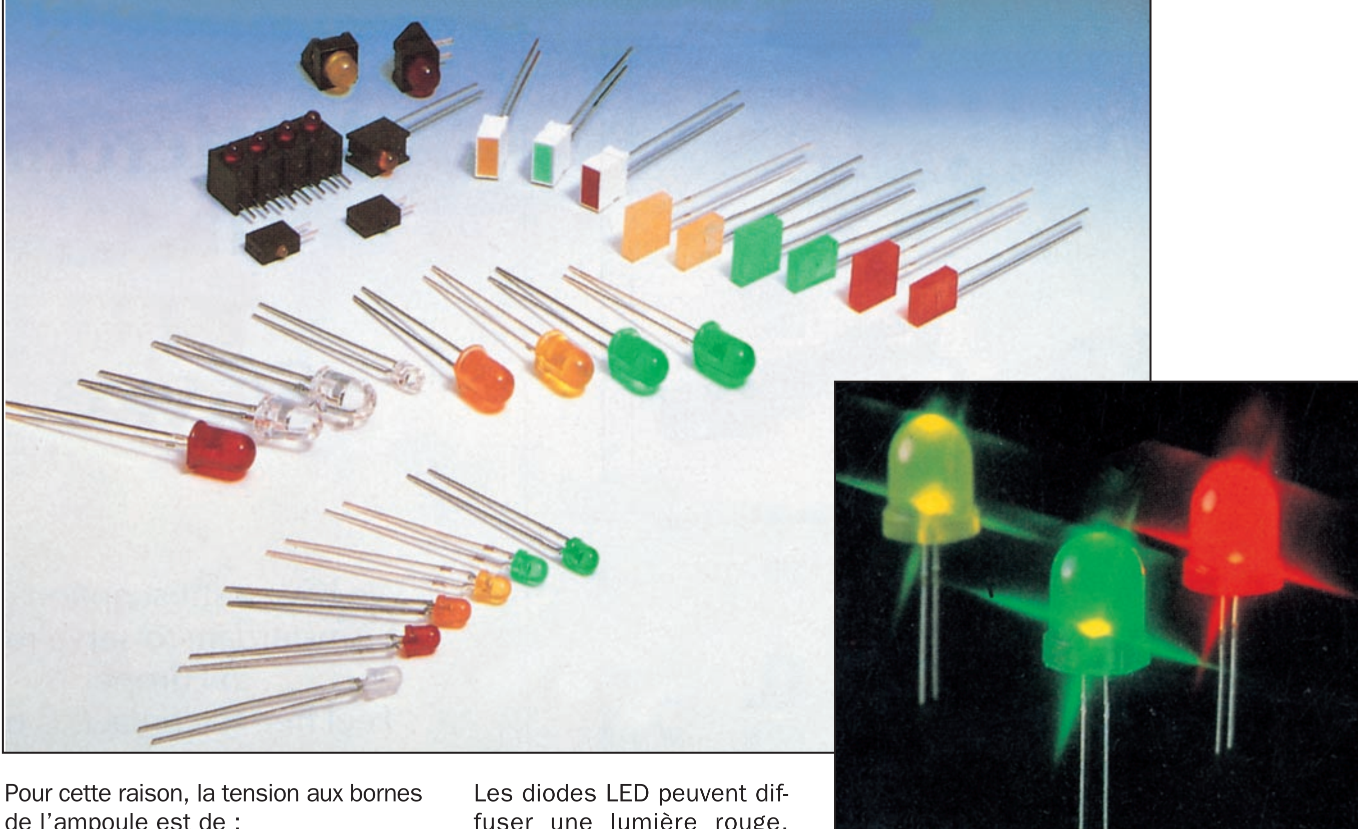


Figure 93 : Relions deux diodes, dirigées dans des sens opposés, d'un côté au pôle positif d'une pile et de l'autre côté à deux ampoules A et B. Selon la disposition illustrée dans le schéma seule l'ampoule A s'allume. Si on inverse les polarités de la pile, seule l'ampoule B s'allume.



Pour cette raison, la tension aux bornes de l'ampoule est de :

4,5 – 0,7 = 3,8 volts

Si l'on relie deux diodes en série, on obtiendra une intensité lumineuse encore plus faible, car la chute de tension double :

4,5 – (0,7 + 0,7) = 3,1 volts

Les diodes LED

Les diodes LED sont représentées sur les schémas électriques avec le symbole indiqué sur la figure 94. Elles peuvent être comparées à des ampoules miniatures, équipées de deux sorties dont l'une est la cathode et l'autre l'anode.

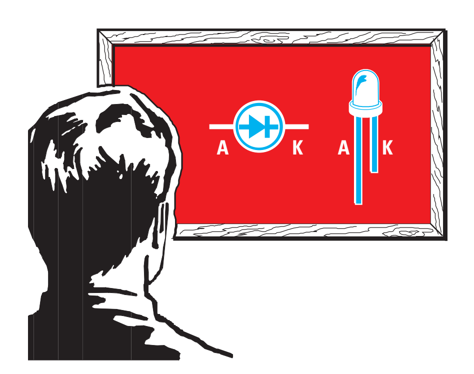
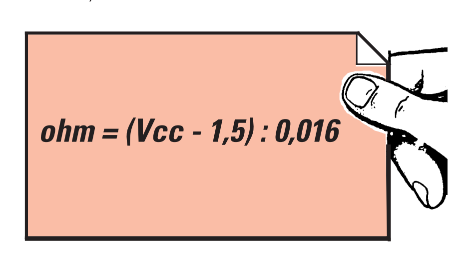


Figure 94 : Sur ce tableau nous avons représenté le symbole graphique utilisé dans les schémas électriques pour indiquer la présence d'une diode LED. La sortie la plus longue est l'anode tandis que l'autre est la cathode.

Les diodes LED peuvent diffuser une lumière rouge, jaune ou verte et elles ont un corps de forme ronde, carrée ou rectangulaire. Ces diodes s'allument seulement lorsque l'anode est reliée au pôle positif et la cathode (généralement indiquée avec la lettre K) au pôle négatif de l'alimentation. On distingue l'anode de la cathode grâce à sa longueur supérieure de la patte anode (voir figure 94).

Important : une diode LED ne doit jamais être reliée directement à la source d'alimentation car elle serait détruite en quelques secondes. Pour commander l'allumage d'une diode LED sans l'endommager, il faut la relier en série avec une résistance capable de réduire le courant à une valeur comprise entre 0,015 et 0,017 ampère, soit entre 15 et 17 milliampères.

Pour calculer la valeur de cette résistance, utilisez la formule suivante :



Ohm - est la valeur de la résistance
Vcc - est la valeur de tension de l'alimentation
1,5 - est la chute de tension à l'intérieur de la diode LED
0,016 - est le courant moyen exprimé en ampère

Si vous alimentez la diode avec une pile de 4,5 volts, vous devrez la relier en série avec une résistance de :

(4,5 – 1,5) : 0,016 = 187,5 ohms

Cette valeur de résistance ne se trouvant pas dans le commerce, vous devez utiliser une valeur standard de 180 ohms.

Si vous alimentez la diode avec une pile de 9 volts, vous devez la relier en série avec une résistance de :

(9 – 1,5) : 0,016 = 468,75 ohms

La valeur standard la plus proche est de 470 ohms.

4ème exercice

Grâce à cette expérience, vous pourrez vérifier que la diode LED ne s'allume que lorsque son anode est reliée au pôle positif de l'alimentation.

Avant toute chose, procurez-vous une pile de 4,5 volts, une diode LED et trois résistances, une de 180 ohms (qui représente la valeur exacte), une de 150 ohms (valeur inférieure) et la dernière de 270 ohms (valeur plus élevée).

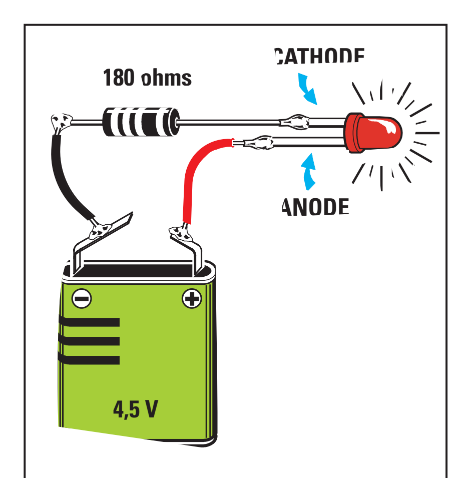


Figure 95 : Pour que la diode LED s'allume, on doit relier sa cathode au pôle négatif de la pile, en série avec une résistance destinée à limiter le courant.

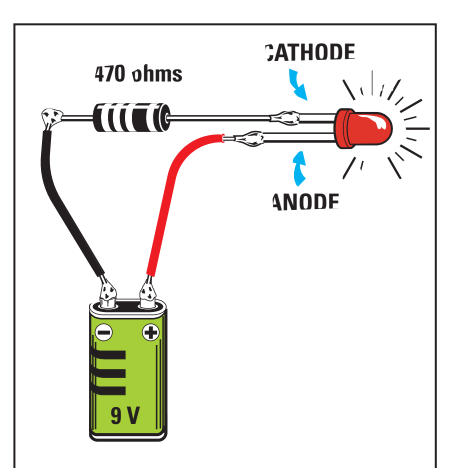


Figure 96 : Si la résistance reliée en série n'a pas une valeur suffisante, la diode LED sera détruite. Pour calculer la valeur exacte de cette résistance, utilisez la formule indiquée dans le texte.

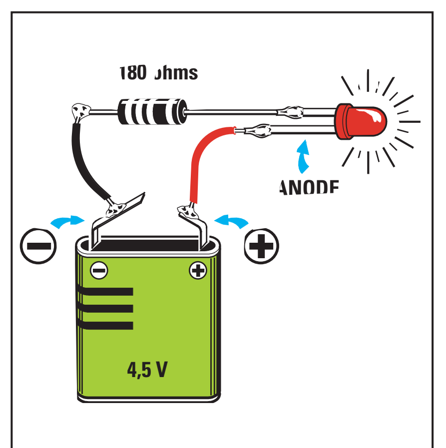


Figure 97 : La cathode d'une diode LED (patte la plus courte) doit toujours être reliée au pôle négatif de la pile, tandis que l'anode (patte la plus longue) sera reliée au pôle positif.

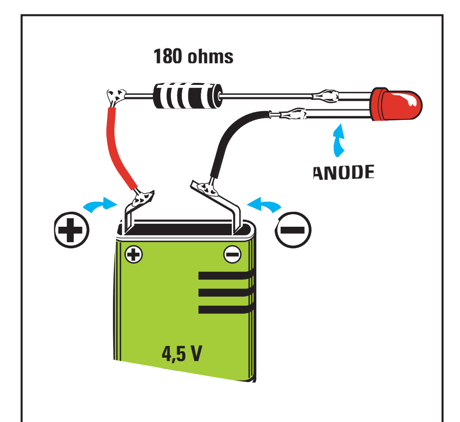


Figure 98 : Si vous reliez la cathode sur le pôle positif de la pile, la diode ne s'allumera pas car elle doit toujours être reliée au pôle négatif.

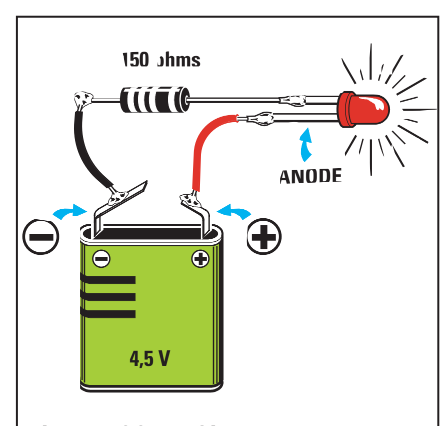


Figure 99 : Si on remplace la résistance de 180 ohms, calculée pour une tension de 4,5 volts, par une résistance de 150 ohms, la diode LED aura une luminosité plus importante (mais une durée de vie moins longue !).

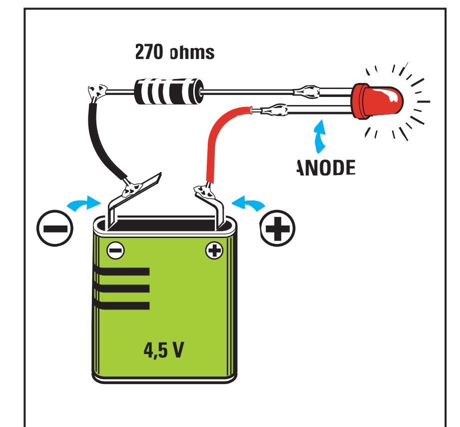


Figure 100 : Si on remplace la résistance de 180 ohms par une résistance de 270 ohms, la diode LED aura une luminosité moins importante.

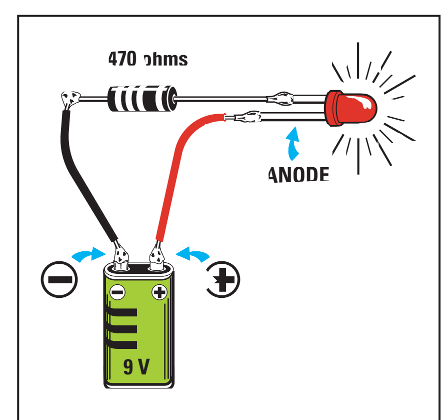


Figure 101 : Si on alimente la diode LED avec une pile de 9 volts, la valeur de la résistance à relier en série sera de 470 ohms.

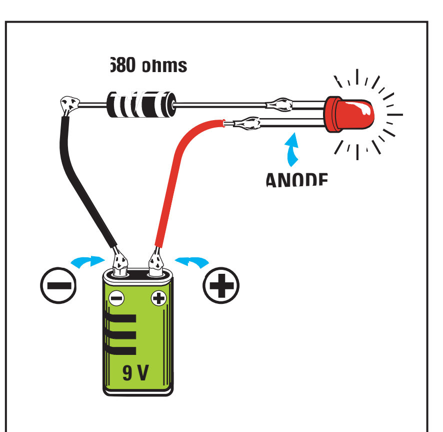


Figure 102 : Si l'on remplace la résistance de 470 ohms par une résistance de 680 ohms, la diode LED émettra moins de lumière.

Soudez la résistance de 180 ohms sur la sortie négative de la pile et sur la cathode de la diode LED. Si l'anode est reliée au pôle positif, la diode LED s'allume (voir figure 97).

Si vous inversez la polarité de l'alimentation, c'est-à-dire si vous retournez la pile en dirigeant le pôle négatif vers l'anode, la diode LED reste éteinte (voir figure 98).

Si vous substituez la résistance de 150 ohms à celle de 180 ohms, la diode LED aura une luminosité plus importante car cette résistance laisse passer plus de courant (voir figure 99). Inversement, si vous remplacez la résistance de 150 ohms par celle de 270 ohms, la diode LED verra sa luminosité diminuer car la résistance laisse passer moins de courant (voir figure 100).

Si vous alimentez la diode LED avec une pile de 9 volts, vous devez utiliser une résistance de 470 ohms (voir figure 101). Le même phénomène que ci-dessus peut être observé en augmentant la résistance à 680 ohms (voir figure 102).

Il existe d'autres diodes que les diodes que nous avons étudiées ici. Les diodes zener, les diodes varicap, etc. Nous en parlerons plus tard, dans de prochaines leçons. ◆

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Avec cette quatrième leçon, nous vous ferons découvrir les diodes zener et leur utilisation à l'intérieur d'un circuit électronique. En outre, nous parlerons de diodes particulières, appelées varicap, qui peuvent être considérées comme de minuscules condensateurs variables, car si on leur applique une tension continue, leur capacité peut varier d'une valeur maximale à une valeur minimale.
Nous décrirons ensuite les afficheurs à sept segments, sans oublier de préciser la différence entre les anodes communes et les cathodes communes. Nous vous proposerons, pour le côté pratique, de vous exercer avec le montage d'un circuit simple dont nous vous fournissons le schéma, et grâce auquel vous pourrez visualiser les nombres de 0 à 9, ainsi que les lettres de l'alphabet et autres symboles graphiques.
Dans un tableau donné dans cet article, vous trouverez toutes les connexions visibles sur la face arrière des afficheurs à sept segments les plus courants. Ce tableau vous sera très utile pour connaître les différentes combinaisons de segments possibles.
Nous conclurons cette leçon par les diodes spéciales, capables d'émettre et de capter les rayons invisibles des infrarouges : les photodiodes.

En attendant les prochaines leçons, dans lesquelles nous publierons des projets intéressants qui resteront néanmoins faciles à réaliser en suivant nos indications, vous pourrez continuer à vous exercer en montant deux petits circuits à diodes LED très simples.

DIODES ZENER
Stabilisateurs de tensions continues

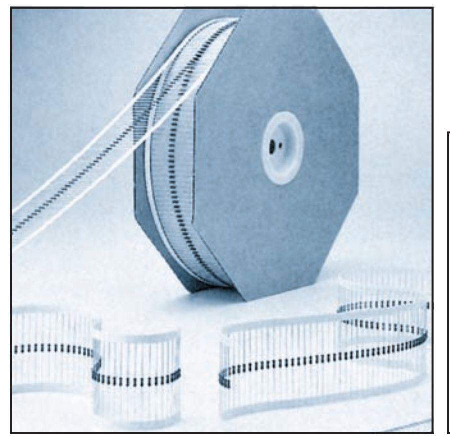
Bien que les diodes zener aient la même forme que les diodes au silicium et une bague colorée permettant d'identifier leur cathode, elles ne sont pas utilisées pour redresser une tension alternative, mais uniquement pour stabiliser des tensions continues.

Pour pouvoir les distinguer des autres, ces diodes sont représentées dans les schémas électriques par le symbole graphique de la figure 103.

Le marquage sur leur corps, par exemple 4V5 – 5V1 – 7V5 – 12 – 15 –18 – 33 etc., indique la valeur de la tension qu'elles sont en mesure de fournir.

En d'autres termes, on utilisera une diode zener marquée 5V1 lorsqu'il sera nécessaire de stabiliser une tension continue, d'une valeur bien évidemment plus importante (7 – 10 – 12 – 15 volts), sur une valeur fixe de 5,1 volts.

Une diode zener marquée 18 sera utilisée pour stabiliser une tension continue d'une valeur plus élevée (22 – 25 –30 volts) sur la valeur fixe de 18 volts.

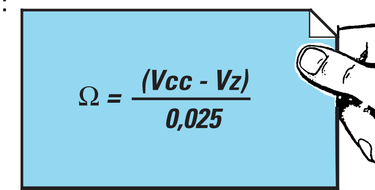


Pour stabiliser une tension à l'aide d'une diode zener, il faut toujours relier sa cathode à une résistance de chute (voir R1, figure 104).

En effet, une diode zener directement reliée à la tension qu'elle doit stabiliser, sans aucune résistance, rendra l'âme en quelques secondes.

La valeur de la résistance doit être choisie en fonction de la valeur de la tension que l'on veut stabiliser et de celle de la diode zener utilisée.

La formule permettant de connaître la valeur en ohms de cette résistance est :



$$\Omega = \frac{(Vcc - Vz)}{0,025}$$

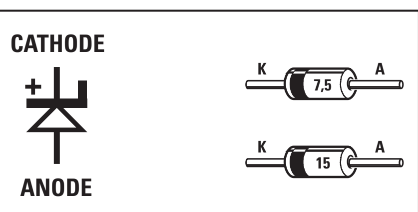


Figure 103 : Symbole graphique de la diode zener. La cathode se trouve du côté de la bague noire.

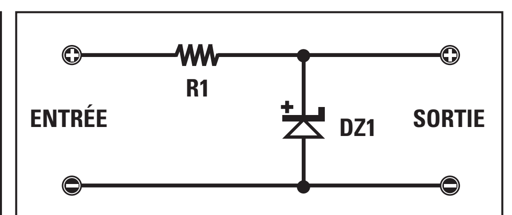


Figure 104 : La diode zener doit toujours être reliée à une tension par l'intermédiaire d'une résistance.

TABLEAU 13

VOLTS ZENER	SIGLE CORPS	VOLTS MINI	VOLTS MAXI
2,7	2V7	2,5	2,9
3,0	3V0	2,8	3,2
3,3	3V3	3,1	3,5
3,6	3V6	3,4	3,8
3,9	3V9	3,7	4,1
4,3	4V3	4,0	4,6
4,7	4V7	4,5	5,0
5,1	5V1	4,8	5,4
5,6	5V6	5,2	6,0
6,2	6V2	5,8	6,6
6,8	6V8	6,4	7,2
7,5	7V5	7,0	7,9
8,2	8V2	7,7	8,7
9,1	9V1	8,5	9,6
10,0	10	9,4	10,6
11,0	11	10,4	11,6
12,0	12	11,4	12,7
13,0	13	12,4	14,1
15,0	15	13,8	15,6
16,0	16	15,3	17,1
18,0	18	16,8	19,1
20,0	20	18,8	21,2
22,0	22	20,8	23,3
24,0	24	22,8	25,6
27,0	27	25,1	28,9
30,0	30	28,0	32,0

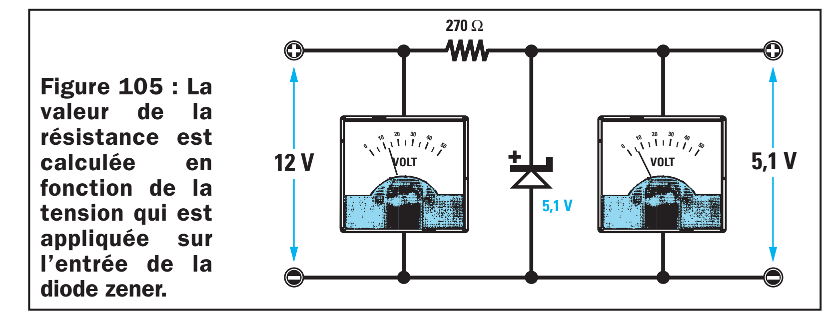


Figure 105 : La valeur de la résistance est calculée en fonction de la tension qui est appliquée sur l'entrée de la diode zener.

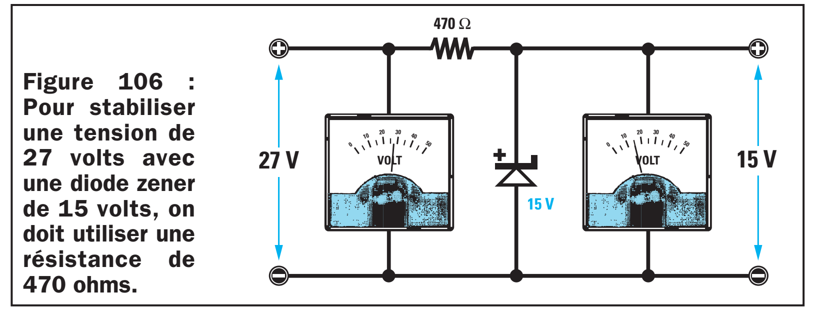


Figure 106 : Pour stabiliser une tension de 27 volts avec une diode zener de 15 volts, on doit utiliser une résistance de 470 ohms.

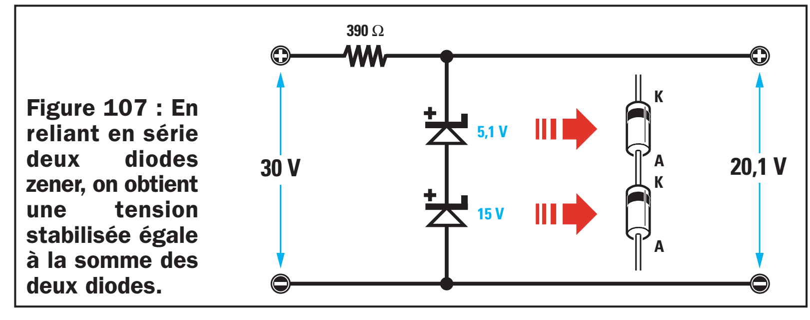


Figure 107 : En reliant en série deux diodes zener, on obtient une tension stabilisée égale à la somme des deux diodes.

où :
Ω est la valeur de la résistance à utiliser
Vcc est la valeur de la tension appliquée sur la résistance
Vz est la valeur de la tension de la diode zener utilisée
0,025 est le courant moyen de travail en ampère

Imaginons que nous ayons une tension de 12 volts (voir figure 105) et que nous voulions la stabiliser à 5,1 volts, nous devrions alors nous procurer une diode zener de 5,1 volts et la relier ensuite aux 12 volts en passant par une résistance qui aurait une valeur de :

$$(12 - 5,1) : 0,025 = 276\ \Omega$$

Cette valeur n'étant pas une valeur standard, nous chercherions la valeur la plus proche dans la progression E12 (voir leçon n° 2), c'est-à-dire 270 ohms.

Pour stabiliser une tension de 27 volts (voir figure 106), à 15 volts, il est nécessaire de se procurer une diode zener de 15 volts et de la relier aux 27 volts, par l'intermédiaire d'une résistance d'une valeur de :

$$(27 - 15) : 0,025 = 480\ \Omega$$

Cette valeur n'étant pas non plus une valeur standard, il faut donc chercher la valeur la plus proche, c'est-à-dire 470 Ω.

Il faut toujours avoir présent à l'esprit le fait que, comme n'importe quel autre composant, les diodes zener ont, elles aussi, leur tolérance. La tension que vous stabiliserez n'aura donc jamais la valeur exacte indiquée sur leur corps. En d'autres termes, sur la sortie d'une diode zener de 5,1 volts, on pourra trouver une tension comprise entre 4,8 volts et 5,4 volts, et sur la sortie d'une diode zener de 15 volts, on pourra trouver une tension comprise entre 13,8 et 15,6 volts (voir tableau 13).

Diodes zener en série

Les diodes zener ne se relient qu'en série car en les reliant en parallèle on obtient une tension stabilisée égale à la diode zener qui a la valeur la plus faible. En reliant en parallèle deux diodes zener, l'une de 5,1 volts et l'autre de 15 volts, on obtiendra une tension stabilisée sur la valeur de tension la plus petite, c'est-à-dire 5,1 volts.

Si, au contraire, on relie en série deux diodes zener, on pourra stabiliser une tension sur la valeur égale à la somme des deux diodes. En reliant en série une diode zener de 5,1 volts et une autre de 15 volts (voir figure 107), on obtiendra une tension stabilisée de 5,1 + 15 = 20,1 volts.

Pour relier en série deux diodes, il faut toujours relier l'anode de la première à la cathode de la seconde, comme on le voit sur la figure 107.

DIODES VARICAP
Condensateurs variables miniatures

Les diodes varicap (voir figure 108), sont des semi-conducteurs dont la capacité interne varie par rapport à la valeur de la tension continue qui leur est appliquée. C'est pourquoi une diode varicap peut être comparée à un minuscule condensateur variable.

Dans les schémas électriques, les varicaps sont graphiquement représentées par le symbole du condensateur sur lequel vient s'appuyer celui d'une diode (voir figure 109).

Le côté sur lequel est représenté le condensateur est la cathode (il est tou-

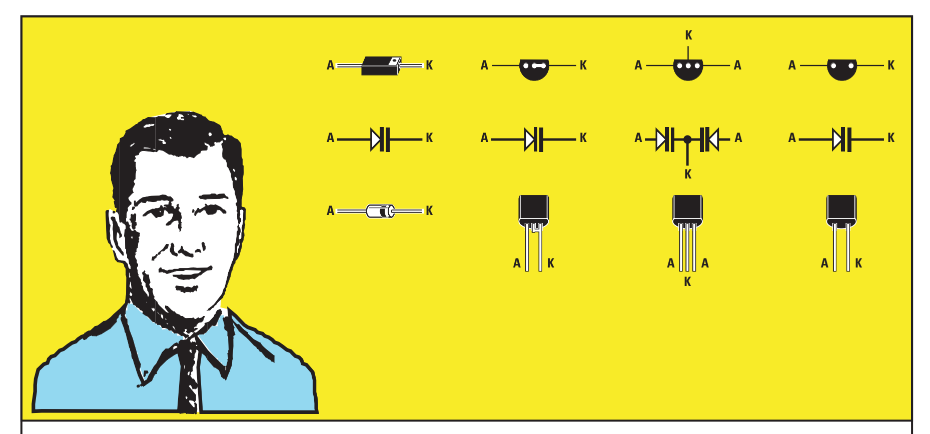


Figure 108 : Les diodes varicap peuvent avoir la forme d’une diode normale ou d’un transistor plastique. Ceux en forme de transistor ont 3 pattes (voir le troisième dessin), et contiennent à l’intérieur, deux diodes varicap reliées en série.

jours marqué de la lettre K), le côté opposé étant l’anode.

Pour faire fonctionner les diodes varicap, il faut appliquer une tension positive sur la cathode et une tension négative sur l’anode.

TABLEAU 14

tension	capacité
0 volt	60 picofarads
2 volts	50 picofarads
4 volts	40 picofarads
6 volts	20 picofarads
8 volts	18 picofarads
12 volts	10 picofarads
14 volts	8 picofarads
16 volts	6 picofarads
18 volts	5 picofarads
20 volts	4 picofarads
22 volts	3 picofarads
24 volts	2 picofarads
25 volts	1,8 picofarad

Lorsqu’elle n’est pas sous tension, la diode varicap présente sa capacité maximale, tandis que lorsqu’elle est sous sa tension maximale de travail, elle présente sa capacité minimale.

Par exemple, si l’on utilise une diode varicap de 60 picofarads fonctionnant avec une tension maximale de travail de 25 volts, on pourra alors varier sa capacité, en variant la tension d’alimentation de 0 à 25 volts, comme indiqué dans le tableau 14.

Les diodes varicap sont actuellement utilisées dans tous les récepteurs et dans tous les téléviseurs dans lesquels elles ont remplacé les vieux et encombrants condensateurs variables ou ajustables. Etant donné que les capacités à utiliser pour permettre le calage sur la gamme des moyennes ondes ne peuvent pas être identiques à celles nécessaires pour se syntoniser sur les gammes VHF – UHF, on trouve dans le commerce des diodes varicap ayant des capacités maximales différentes, par exemple 500 – 250 – 100 – 60 – 40 – 20 – 6 – 3 pF.

Pour faire varier la capacité de ces diodes, on doit toujours appliquer la tension continue au travers d'une résistance qui doit avoir une valeur d’environ 47 kΩ (voir figures 111, 112, 113 et 114), à défaut de quoi elles ne fonctionneraient pas correctement.

Les diodes varicap peuvent être reliées en série, comme sur la figure 114, mais dans ce cas leur capacité se réduira de moitié, ou alors en parallèle, et dans cet autre cas, leur capacité doublera. Voyez à ce sujet la leçon numéro 3 sur les condensateurs reliés en série et en parallèle.

Si on relie en série deux diodes varicap de 60 picofarads, on obtient une capacité de 30 picofarads, tandis qu’en les reliant en parallèle, on obtient une capacité de 120 picofarads.

Les diodes varicap se relient en série (voir figure 114), non seulement pour réduire de moitié leur capacité, mais aussi afin d’éviter qu’elles puissent redresser des signaux HF très « puissants ». Dans le cas contraire, on obtiendrait une tension continue sup-

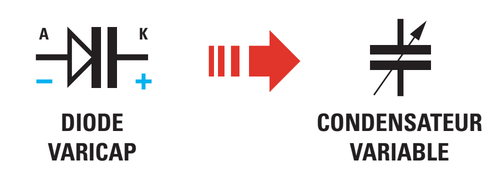


Figure 109 : Sur la gauche se trouve le symbole graphique d’une diode varicap. Ces diodes sont des petits condensateurs dont la capacité est variable.

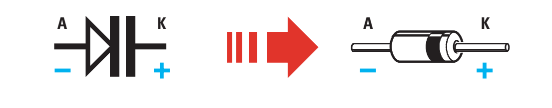


Figure 110 : La cathode (K) d'une diode varicap doit toujours être reliée au positif de l’alimentation par l'intermédiaire d'une résistance.

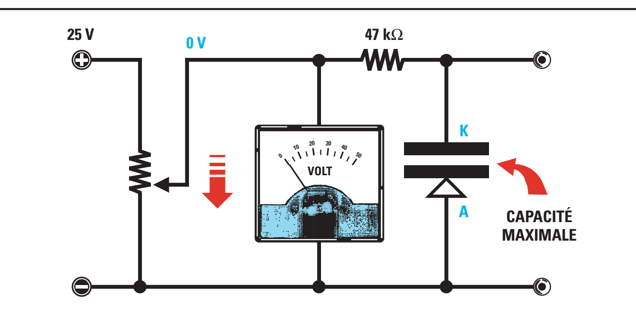


Figure 111 : Pour obtenir la capacité maximale d’une diode varicap reliée au curseur d’un potentiomètre, il faut tourner le curseur vers « masse ». On trouve des diodes varicap avec comme capacités « maximales » 500 – 250 – 100 – 60 – 40 – 20 – 6 – 3 pF.

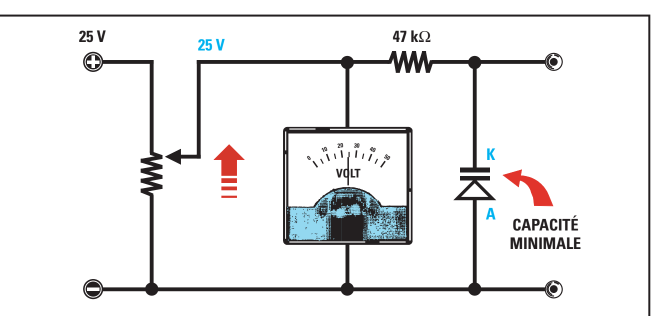


Figure 112 : Si on tourne le curseur du potentiomètre vers la tension positive maximale, la capacité de la diode varicap diminuera vers sa valeur « minimale ». La diode varicap doit toujours être reliée au potentiomètre par l'intermédiaire d'une résistance.

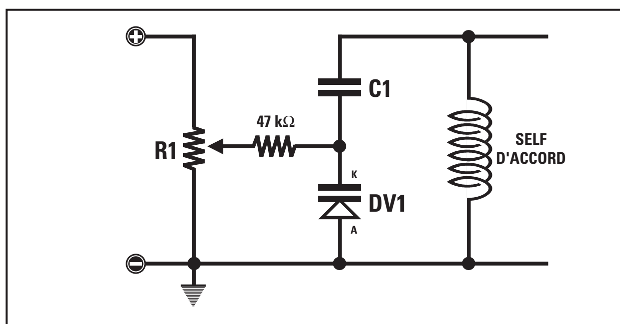


Figure 113 : Voici un exemple pour faire varier la fréquence d'accord d'un circuit LC avec une diode varicap reliée à une self. Le condensateur C1, monté en série avec la diode varicap empêche la tension positive d'atteindre la masse en passant par la bobine L1.

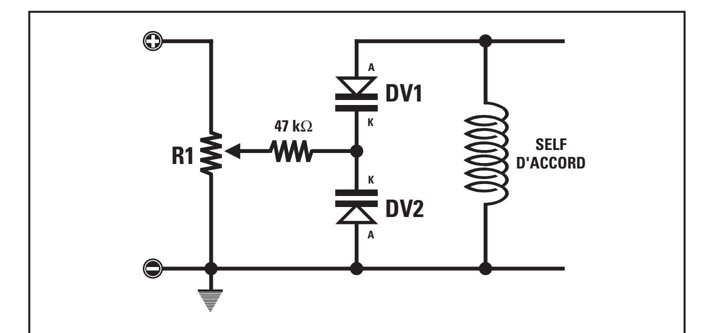


Figure 114 : Si on utilise une « double » diode varicap, en reliant les deux cathodes vers la résistance de 47 kΩ, on pourra éviter d'utiliser un condensateur C1, mais alors la capacité des deux diodes varicap sera diminuée.

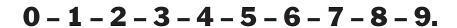
plémentaire qui, par l'intermédiaire du potentiomètre, modifierait celle appliquée sur leurs sorties en faisant alors varier leur capacité.

Même dans le cas où les deux diodes reliées en série devraient redresser le signal HF, l'une d'elles redresserait uniquement les demi-ondes négatives tandis que l'autre redresserait seulement les demi-ondes positives, et l'on obtiendrait ainsi deux tensions identiques de polarité opposée qui s'annuleraient.



AFFICHEURS 7 SEGMENTS

L'afficheur est un composant composé de 7 diodes LED (Light Emitting Diode – diode à émission de lumière) en forme de segment et disposées de façon à former un 8 (voir figure 115). En alimentant ces segments avec une tension continue, on peut visualiser n'importe quel nombre de 0 à 9, c'est-à-dire :



0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9.

Les petites lettres que vous voyez reportées en face de chacun des segments – et que vous retrouverez également dans le dessin du dos de l'afficheur – nous permettent de connaître le segment qui s'allume quand on applique une tension continue sur la broche correspondante.

a = segment horizontal supérieur
b = segment vertical supérieur droit
c = segment vertical inférieur droit
d = segment horizontal inférieur
e = segment vertical infér. gauche
f = segment vertical supér. gauche
g = segment horizontal central
dp = identifie le point décimal

En regardant le dessin de n'importe quel afficheur, on retrouve toujours, sur l'une ou l'autre des broches, la lettre majuscule A ou K.

S'il s'agit de la lettre A, cela signifie que l'afficheur est du type à anode commune car, comme on le voit figure 117, toutes les anodes des diodes LED sont reliées entre elles.

La broche A de ces afficheurs doit être reliée au positif de l'alimentation et toutes les sorties a – b – c – d – e – f – g – dp au négatif de l'alimentation, grâce à des résistances dont on choisit la valeur en fonction de la tension.

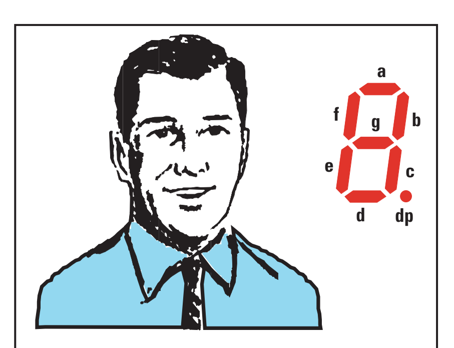
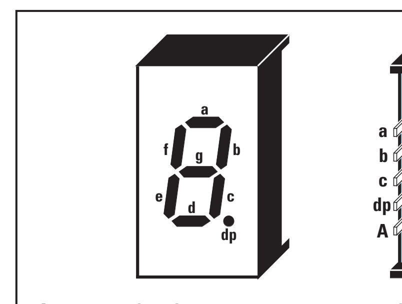


Figure 115 : On trouve, à l'intérieur d'un afficheur, 7 diodes LED en forme de segment. La disposition de chaque segment est indiquée par une lettre minuscule.



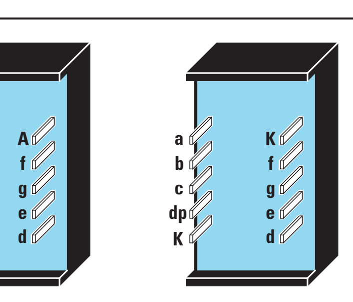


Figure 116 : On trouve, dans un afficheur, une ou deux broches indiquées par la lettre majuscule A ou K. La lettre A indique que l'afficheur est à anode commune, tandis que la lettre K indique qu'il est à cathode commune (voir les figures 117 et 118).

S'il s'agit de la lettre K, cela signifie que l'afficheur appartient au type à cathode commune car, comme on le voit figure 118, toutes les cathodes des diodes LED sont reliées entre elles.

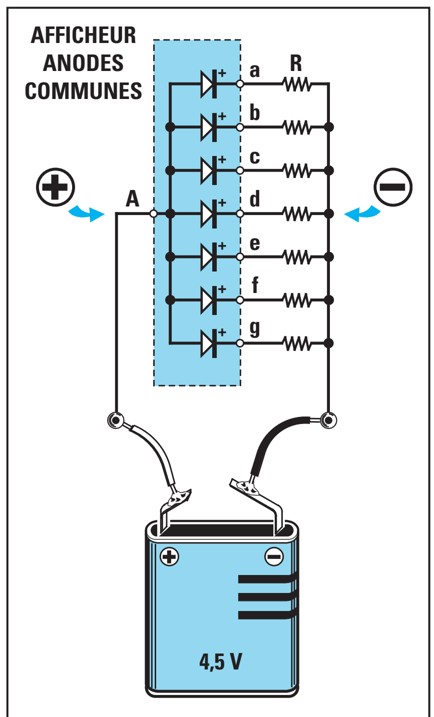


Figure 117 : Dans un afficheur à anode commune, toutes les anodes des diodes LED sont reliées entre elles. Pour les allumer, il faut donc connecter A au positif de la pile, et les 7 segments au négatif.

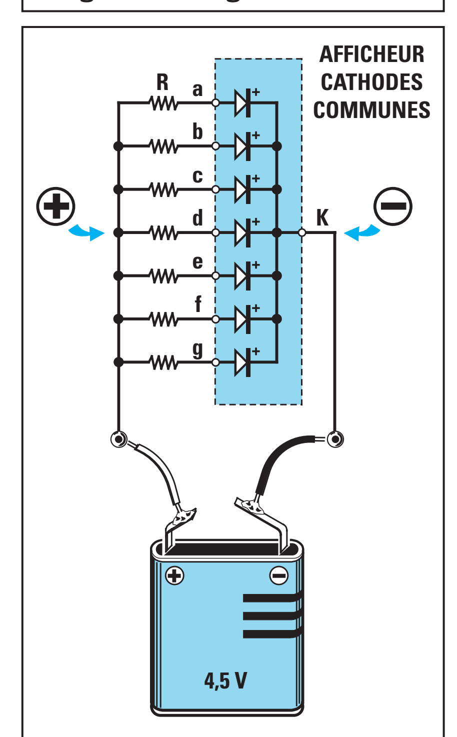


Figure 118 : Dans un afficheur à cathode commune, les cathodes des diodes LED sont reliées entre elles, et donc, pour pouvoir les allumer, il faut connecter K au négatif de l'alimentation, et ses 7 segments au positif.

La broche K de ces afficheurs doit être reliée au négatif de l'alimentation et toutes les sorties a – b – c – d – e – f – g – dp, au positif de l'alimentation, par l'intermédiaire de résistances dont on choisit la valeur en fonction de la tension.

Pour calculer la valeur des résistances à insérer dans les sorties a – b – c – d – e – f – g – dp, on peut utiliser cette simple formule :

$$\Omega = (V - 1,5) : 0,016$$

Par conséquent, si on veut allumer un afficheur avec une tension de 4,5 volts, on doit utiliser 8 résistances de :

$$(4,5 - 1,5) : 0,016 = 187,5\ \Omega$$

Cette valeur de résistance n'appartenant pas aux valeurs standards, il faudra choisir la valeur la plus proche, c'est-à-dire 180 Ω ou 220 Ω.

Si on utilise des résistances de 180 Ω, les segments se révéleront plus lumineux que si l'on utilise des résistances de 220 Ω.

Pour allumer un afficheur avec une tension de 9 volts, il faut utiliser 8 résistances de :

$$(9 - 1,5) : 0,016 = 468,75\ \Omega$$

Cette valeur n'appartenant pas non plus aux valeurs standards, on choisira la valeur la plus proche du résultat de notre calcul, c'est-à-dire 470 ou 560 Ω.

Si l'on utilise des résistances de 470 Ω, les segments se révéleront plus lumineux que si l'on utilise des résistances de 560 Ω.

N'appliquez jamais de tension sur les broches d'un afficheur sans ces résistances car vous endommageriez instantanément les diodes présentes à l'intérieur.

Les afficheurs se trouvent dans le commerce avec des segments de couleur jaune, rouge, vert ou orange, mais les plus utilisés sont les rouges et les verts.

Dans le tableau de la figure 124, sont représentées les connexions des afficheurs les plus répandus, vus de derrière, c'est-à-dire du côté où les sorties dépassent de leur corps. Comme vous pouvez le constater, beaucoup d'afficheurs ont leurs sorties placées sur le côté droit ou gauche, d'autres sur la partie supérieure ou inférieure. Il existe des afficheurs ne pouvant afficher que le chiffre 1 et les deux symboles + et –. D'autres qui contiennent dans un même corps deux ou quatre afficheurs.

Ces derniers sont toutefois moins utilisés, car il suffit qu'un seul segment de l'un des afficheurs soit endommagé pour devoir changer le corps tout entier !

Les afficheurs 7 segments sont utilisés pour réaliser des horloges digitales, des compteurs, des fréquencemètres, des thermomètres, des ohmmètres, des voltmètres, etc. Ils sont généralement utilisés dans tous les instruments sur lesquels il est nécessaire de visualiser un ou plusieurs chiffres.

On trouve dans le commerce des afficheurs à cristaux liquides (voir figure 119), appelés LCD (Liquid Crystal Display), qui n'émettent pas de lumière. Ces afficheurs sont capables d'afficher, en plus des nombres, également toutes les lettres de l'alphabet.

Contrairement aux afficheurs à LED – pour lesquels il suffit, pour visualiser un nombre, d'alimenter les segments correspondants à l'aide d'une tension continue passant au travers d'une résistance (voir figure 120) – les afficheurs à cristaux liquides nécessitent, pour effectuer le même travail, des circuits intégrés spéciaux souvent pilotés par un microprocesseur.

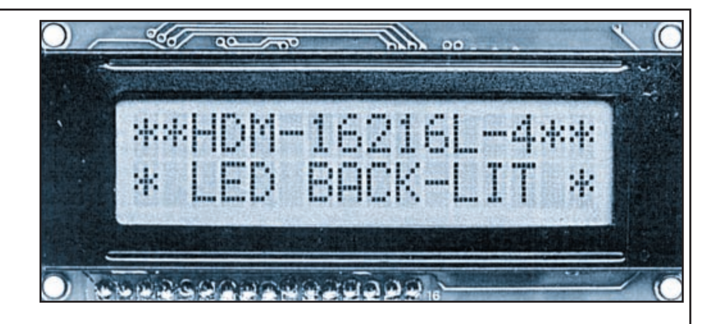


Figure 119 : On trouve également dans le commerce des afficheurs alphanumériques de type LCD. Ces derniers ont une matrice composée d'une multitude de « points ». Pour les allumer de façon à former des chiffres ou des lettres, il faut les piloter avec un microprocesseur.

5ème exercice

Montage pédagogique de compréhension du fonctionnement d'un afficheur 7 segments : Kit LX.5000

Si vous décidez de faire l'acquisition du kit LX.5000 (voir annonceurs dans la revue), vous y trouverez un circuit imprimé, un afficheur 7 segments à anode commune, les 8 résistances nécessaires, le connecteur de la pile et le petit dip-switch à 8 contacts qui vous permettront de relier les différents segments au pôle négatif de l'alimentation (voir figure 120). Si vous possédez déjà un fer à souder et que vous savez vous en servir, vous pourrez donc réaliser immédiatement ce simple projet didactique.

Si vous ne savez pas encore souder, il serait préférable que vous commenciez par lire la leçon suivante dans laquelle nous vous révélons tous les secrets pour obtenir des soudures parfaites. Si toutefois vous étiez trop impatient et désiriez tout de même monter le circuit, lancez-vous car de mauvaises soudures ne pourraient suffire à endommager l'afficheur, sauf si vous soudez avec un fer 100 watts ! Dans le pire des cas, cela empêcherait seulement certains des segments de s'allumer.

Si vous suivez attentivement toutes nos instructions, l'afficheur 7 segments fonctionnera sans problème et, une fois le montage terminé, vous serez en mesure de faire s'afficher tous les nombres de 0 à 9, les lettres L – A – C – E – F – S – U – H – b – d, ou d'autres symboles.

Commencez par replier en L toutes les sorties des huit résistances, et insérez-les dans les trous du circuit imprimé prévus à cet effet, en enfonçant bien les résistances, de façon à ce que leurs corps viennent bien prendre appui sur le circuit.

Soudez ensuite toutes les pattes sur le côté opposé, c'est-à-dire sur les pistes de cuivre. Après avoir soudé, coupez tout ce qui dépasse. Si toutefois, en coupant, vous remarquez qu'une résistance bouge, il faudra refaire la soudure.

Pour tous les travaux courants d'électronique, vous pouvez utiliser un fer à souder de bonne qualité, de 30 à 40 W maximum pour une température de fonctionnement de 280 à 350 degrés et de la soudure décapante d'un diamètre inférieur ou égal à 10/10 de mm.

Pour obtenir de bonnes soudures, il ne faut pas faire fondre la soudure sur la panne du fer à souder (la panne est l'extrémité chauffante) pour l'appliquer ensuite sur les pattes des composants. Au contraire, il faut d'abord appuyer (sans forcer) la panne, bien étamée (enduite de soudure puis secouée sèchement avant d'être rapidement « essuyée » sur une petite éponge humide), du fer à souder sur la piste de cuivre près de la patte du composant à souder, puis l'approcher jusqu'à la toucher, fermement mais sans forcer. Le fer doit être incliné à 45 degrés environ.

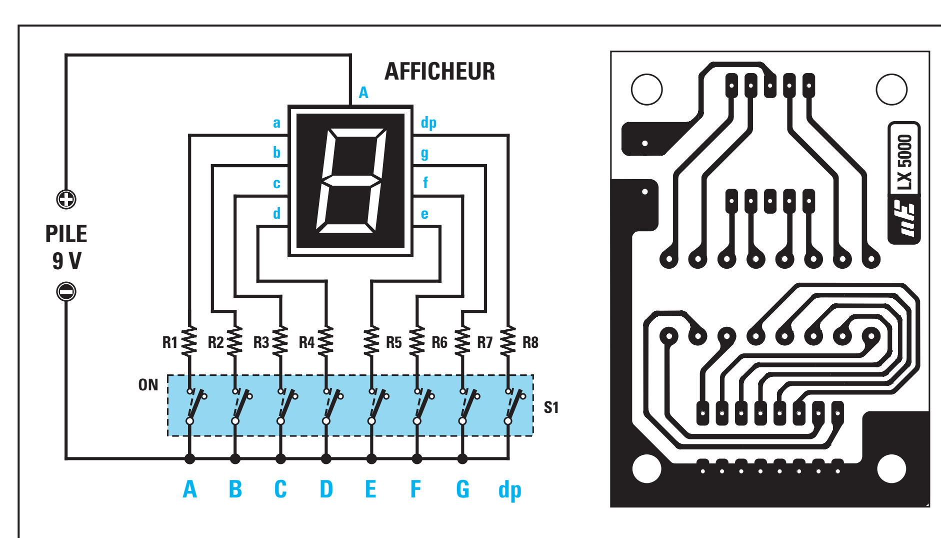


Figure 120 : A gauche, le schéma électrique du circuit que nous vous proposons de monter pour comprendre comment, en allumant ces 7 segments, on peut visualiser tous les nombres de 0 à 9 ainsi que des lettres de l'alphabet (voir les tableaux 120c et 120d). Le dessin du circuit imprimé du montage est donné figure 120b et la figure 121 donne le schéma d'implantation.

Liste des composants du kit LX.5000 : de R1 à R8, résistances de 470 Ω - Afficheur à anode commune de type BS/A501RD ou équivalent - S1 dip-switch à 8 mini-interrupteurs (voir figure 121).

chiffre afficheur	mini-inter à activer						
0	A	B	C	D	E	F	
1		B	C				
2	A	B		D	E		G
3	A	B	C	D			G
4			C			F	G
5	A		C	D		F	G
6			C	D	E	F	G
7	A	B	C				
8	A	B	C	D	E	F	G
9	A	B	C			F	G

Figure 120c

lettre afficheur	mini-inter à activer						
L				D	E	F	
A	A	B	C		E	F	G
C	A			D	E	F	
E	A			D	E	F	G
F	A				E	F	G
S	A		C	D		F	G
U		B	C	D	E	F	
H		B	C		E	F	G
b			C	D	E	F	G
d		B	C	D	E		G

Figure 120d

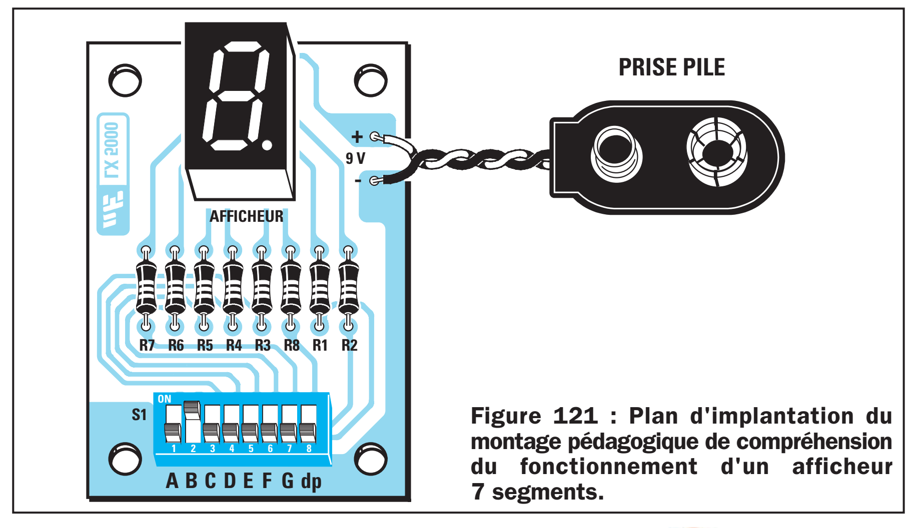
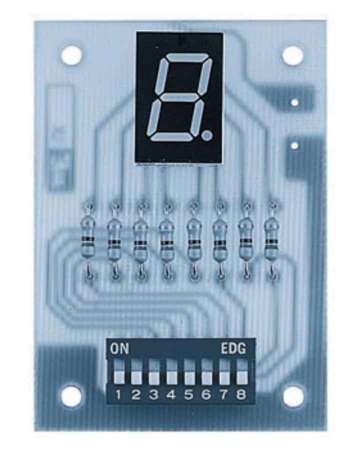
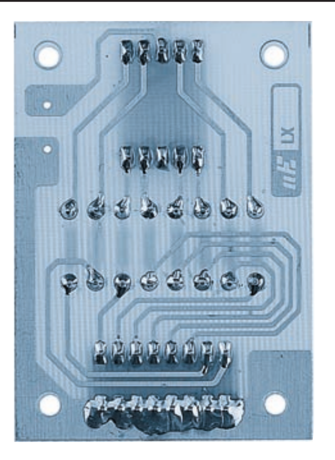


Figure 121 : Plan d'implantation du montage pédagogique de compréhension du fonctionnement d'un afficheur 7 segments.





Figures 122a et 122b : Comment se présente le circuit du côté des composants et du côté des soudures.

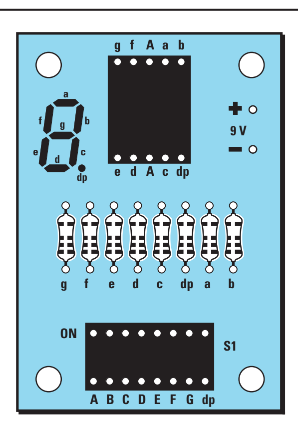
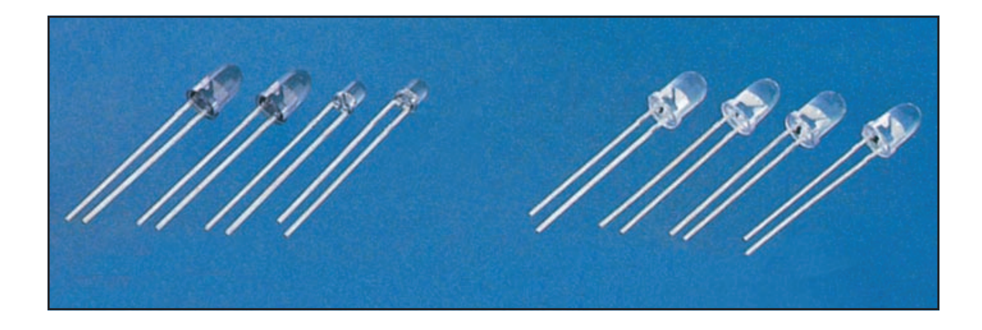


Figure 123 : Le circuit imprimé, fourni dans le kit LX.5000 déjà prêt à l'emploi ou à réaliser soi-même.

Figure 124 : Ci-dessus, les connexions vues de derrière, des afficheurs à 7 segments les plus courants.
Quand vous les regarderez de face, vous trouverez les broches insérées sur le côté droit à gauche et vice-versa.
En regardant la sérigraphie (voir figure 123), et les connexions de l'afficheur que l'on a utilisé (voir bloc numéro 4), vous pouvez remarquer que les broches de droite se retrouvent sur le côté gauche.
Dans les blocs 13 – 14 et 15, nous avons donné les connexions des afficheurs capables de visualiser seulement le chiffre 1 et les symboles + et –.
Dans les carrés 16 et 17 nous avons donné les connexions des afficheurs doubles.

Après 1 à 2 secondes (le temps que la piste et la patte chauffent), appliquer la soudure de l'autre côté de la patte du composant à souder (toujours à 45 degrés environ) et faire fondre 2 à 3 mm de soudure, puis la retirer tout en continuant à maintenir le fer à souder en place pendant encore 1 à 2 secondes.



Ne jamais souffler sur une soudure qui doit être bien brillante.

Vous pouvez maintenant insérer l'afficheur dans les trous du circuit imprimé, en dirigeant vers le bas le point décimal qui apparaît à droite du 8 (voir figure 121).

Insérez ensuite le dip-switch sur la partie basse du circuit imprimé en dirigeant l'inscription ON vers les résistances. Toutes les broches de l'afficheur devront bien évidemment être soudées sur les pistes en cuivre du circuit imprimé.

Pour finir, enfilez le fil rouge du connecteur d'alimentation dans le trou marqué du signe positif (+) et le fil noir dans le négatif (–), en les soudant aux deux pistes en cuivre se trouvant au-dessous.

Après avoir vérifié qu'aucune des broches du display ou du dip-switch ne soit en court-circuit, connectez une pile de 9 volts au montage.

Pour obtenir un chiffre ou une lettre, vous devrez simplement déplacer les mini-interrupteurs du dip-switch de bas en haut, comme indiqué sur les tableaux des figures 120c et 120d.

Le dernier mini-interrupteur, placé sur la droite et indiqué par dp, sert uniquement à allumer le point décimal à côté du 8.

PHOTODIODES émettrices et réceptrices

Les photodiodes sont des diodes qui entrent en conduction seulement lorsqu'elles sont frappées par une source lumineuse.

Dans les schémas électriques, ces composants, qui vus de l'extérieur ont l'apparence d'une diode ou d'un transistor, sont représentés comme une diode normale à laquelle on ajoute des flèches, de façon à pouvoir les distinguer des composants non sensibles à la lumière. Si la diode est émettrice, les flèches sont tournées vers l'extérieur. Si elle est réceptrice, elles sont alors tournées vers le composant (voir figure 125).

On peut comparer les photodiodes aux photorésistances car elles parviennent à faire varier leur résistance en fonction de la lumière, avec la seule différence que les photodiodes doivent être reliées à la tension d'alimentation en respectant leur polarité positive et négative.

Pour les faire fonctionner, il faut relier la cathode (K) au positif de l'alimentation grâce à une résistance, comme pour une diode normale, et l'anode (A) au négatif.

La résistance, qui sert à limiter le courant, peut aussi être reliée à l'anode.

Il existe des photodiodes sensibles uniquement à la lumière solaire et d'autres sensibles aux rayons à infrarouges, qui comme vous le savez, sont invisibles à notre œil.

A titre d'exemple, dans un téléviseur on trouve des photodiodes à infrarouges qui, en captant les rayons également à infrarouges émis par des diodes présentes dans la télécommande, nous permettent de changer de chaîne, de monter ou de baisser le volume du son, de régler la luminosité ou encore de faire varier le niveau des couleurs (figure 127).

Les photodiodes émettrices et réceptrices sont généralement utilisées pour les ouvertures de portes automatiques (voir figure 128), pour réaliser des antivols ou des comptes-pièces.

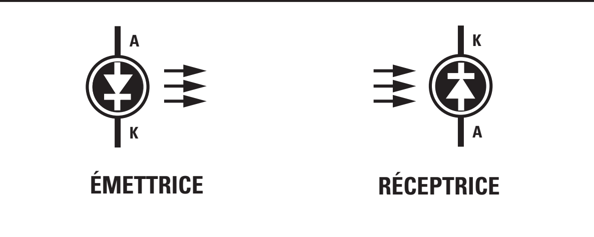


Figure 125 : Symbole graphique des photodiodes émettrices et réceptrices. Remarquez bien l'emplacement des flèches.

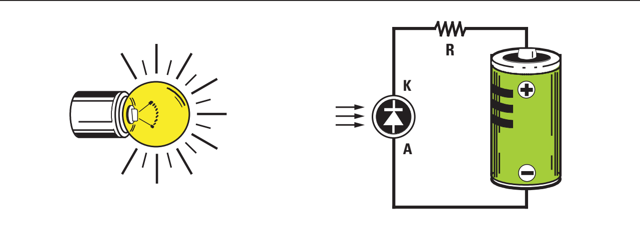


Figure 126 : Les photodiodes entrent en conduction seulement si elles sont frappées par un rayon de lumière.

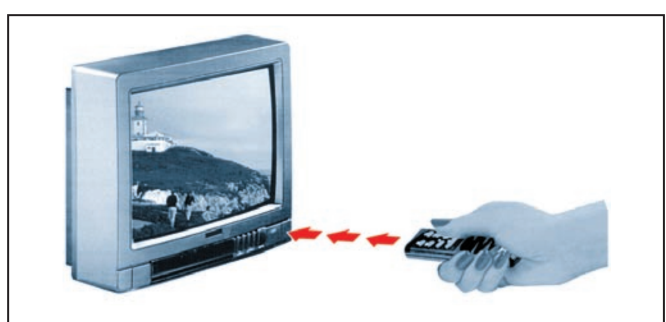


Figure 127 : Dans les télécommandes, on utilise des photodiodes à infrarouges.

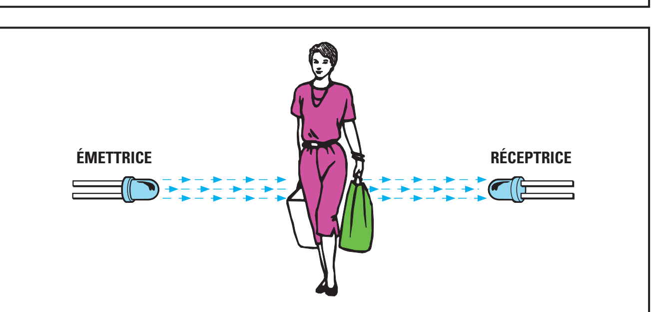


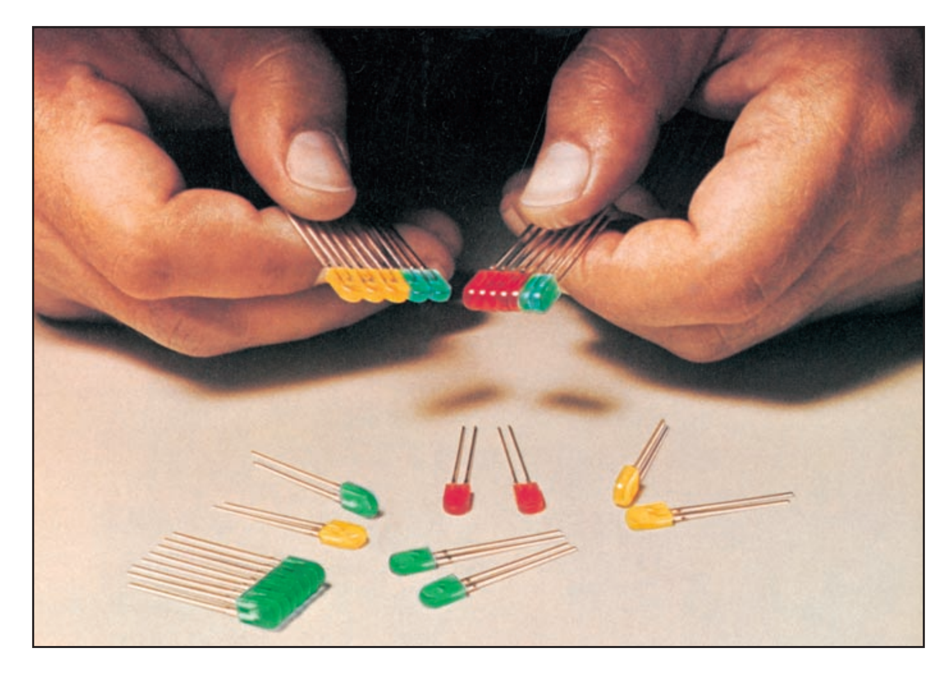
Figure 128 : Les photodiodes sont utilisées pour réaliser des ouvertures automatiques de portes, des antivols, des compte-pièces.

6ème exercice

Deux montages simples et pédagogiques

Si vous possédez déjà un fer à souder, vous pouvez commencer à monter sur les deux circuits imprimés que nous vous proposons tous les composants nécessaires afin de réaliser deux circuits électroniques simples mais intéressants, qui fonctionneront avec n'importe quel type de diodes.

Dans ces projets, nous avons utilisé un composant dont nous n'avons pas encore parlé, le circuit intégré. Nous étudierons en détail son fonctionnement dans une prochaine leçon.



Indicateur clignotant à deux diodes LED Kit LX.5001

Ce circuit est un tout petit indicateur qui allume alternativement une diode rouge et une diode verte à une vitesse variable que vous pourrez vous choisir.

Pour réaliser le schéma reporté en figure 131, il faut un circuit intégré appelé NE.555 (voir IC1), que nous utilisons comme générateur d'ondes carrées.

Sans trop rentrer dans des détails techniques, nous pouvons tout de même vous signaler qu'en tournant le trimmer R3 d'un extrême à l'autre, on obtient sur la broche de sortie 3 du circuit intégré une fréquence variable de 1 à 10 hertz (Hz).

Une onde carrée étant composée d'une demi-onde positive et d'une demi-onde négative, on retrouve sur la broche de sortie une tension qui passera alternativement de 9 volts à 0 volt.

Lorsque la tension sur la broche est de 9 volts, l'anode de la diode DL2 est alimentée et, par conséquent, elle s'allume. La diode DL1 ne peut pas s'allumer car la tension positive alimente la cathode.

Lorsque la tension, sur cette broche est de 0 volt, la diode DL2 s'éteint et la diode DL1 s'allume car vient alors s'appliquer la tension positive de 9 volts sur son anode.

Si on règle le trimmer R3 sur la fréquence de 1 Hz, les deux diodes clignoteront très lentement, tandis que sur la fréquence de 10 Hz, les diodes clignoteront très rapidement.

Pour alimenter ce circuit il faut une pile normale de 9 volts.

Passons maintenant à la réalisation pratique du circuit. Il est d'autant plus difficile de se tromper dans le montage de ce projet que vous trouverez, gravées sur le circuit imprimé LX.5001, toutes les références des différents composants à insérer (pour peu que vous fassiez l'acquisition du kit !).

Le premier composant à insérer est le support du circuit intégré IC1. Sur le côté opposé, c'est-à-dire sur les pistes de cuivre, soudez ensuite toutes les broches en faisant bien attention de ne pas créer de court-circuit par une grosse goutte de soudure qui mettrait en contact deux broches voisines.

Vous pouvez ensuite souder le trimmer R3 et toutes les résistances en prenant soin d'insérer les valeurs correctes après avoir contrôlé dans la liste des composants (voir figure 131), les valeurs ohmiques de R1, R2, R4 et R5.

Insérez alors les deux condensateurs polyester C1 et C3 d'abord, puis les électrolytiques C2 et C4, en respectant bien leur polarité. N'oubliez pas que la broche la plus longue est toujours le pôle positif.

Après les condensateurs, montez les deux diodes LED en dirigeant la broche la plus longue, l'anode, dans le trou de gauche, indiqué par la lettre A (voir figure 131). Cette fois-ci, contrairement aux autres composants déjà soudés, vous veillerez à ce que le corps des diodes reste à environ 1 cm du circuit imprimé.

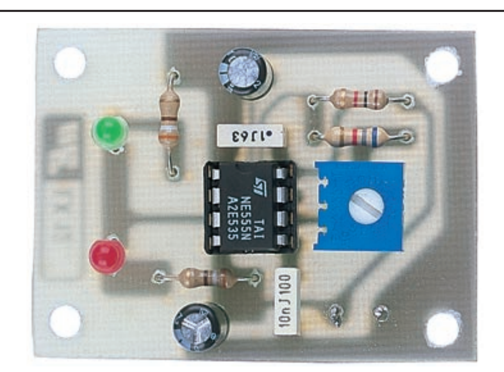


Figure 129 : L'indicateur à deux diodes LED une fois monté.

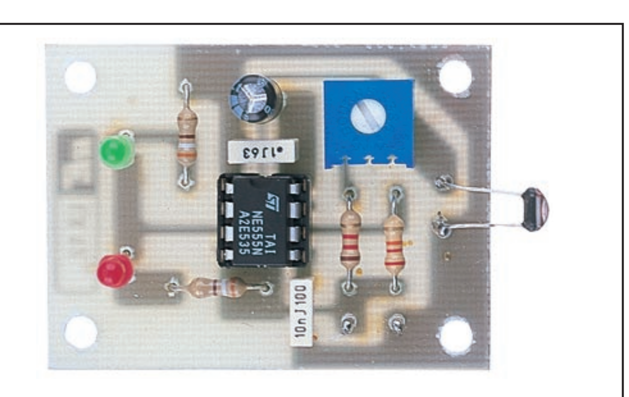
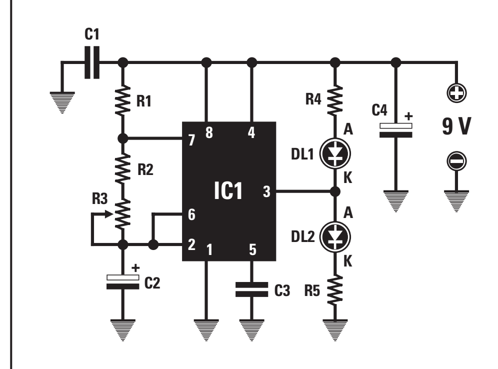
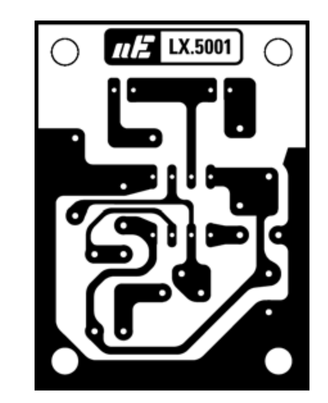


Figure 130 : L'indicateur crépusculaire une fois terminé.





R1= 1 kΩ 1/4 watt
R2 = 6,8 kΩ 1/4 watt
R3 = 50 kΩ trimmer
R4 = 180 Ω 1/4 watt
R5 = 180 Ω 1/4 watt
C1 = 100 nF polyester
C2 = 10 µF électr. 63 volt
C3 = 10 nF polyester
C4 = 47 µF électr. 16 volt
DL1 = diode LED
DL2 = diode LED
IC1 = circuit intégré NE.555

PRISE PILE

Figure 131 : A gauche, le schéma électrique de l'indicateur à deux LED LX.5001 avec la liste de tous les composants, et à droite, le plan d'implantation. Remarquez bien l'encoche du circuit intégré IC1 et les broches A et K des diodes LED.

Puis, après avoir soudé les broches des deux diodes, insérez le circuit intégré NE.555 dans son support, en dirigeant son encoche-détrompeur vers le condensateur polyester C1 (voir figure 131).

Soudez en dernier les deux fils du connecteur de la pile d'alimentation, le rouge dans le trou marqué « + » et le noir, dans le trou marqué « – ».

Vous pouvez maintenant relier la pile de 9 volts et ainsi permettre aux diodes de clignoter.

Pour faire varier la vitesse à laquelle elles clignotent, il suffit de régler, avec un petit tournevis, le curseur du trimmer R3.

Un indicateur crépusculaire Kit LX.5002

Ce second circuit est un simple indicateur crépusculaire qui provoque l'allumage de la diode LED DL2 lorsqu'il y a de la lumière et celui de la diode LED DL1 quand il fait nuit.

Ce type de montage est généralement utilisé pour allumer de façon automatique les éclairages à la tombée de la nuit et les éteindre dès les premières lueurs du jour.

Le circuit que nous vous présentons ne possède pas cette fonction, car il ne dispose pas de relais de commande ni de l'électronique nécessaire à son fonctionnement. Vous n'assisterez donc qu'à l'allumage de la diode DL1 dans l'obscurité et à l'allumage de la diode DL2 à la lumière.

Le trimmer R2 vous permet de régler la sensibilité du circuit à l'obscurité.

DIODE LED

NE 555

Figure 132 : Rappelez-vous que la broche la plus longue de la diode est son anode. A droite, les connexions du circuit intégré NE.555, vues du dessus. Notez l'encoche de référence.

Vous pouvez ainsi faire s'allumer la diode DL1 à la nuit tombée ou bien alors dès les premières heures du soir.

Pour essayer ce circuit, il ne vous sera pas nécessaire d'attendre la nuit, mais il vous suffira de couvrir la photorésistance avec votre main ou à l'aide d'un tissu ne laissant pas passer la lumière.

Comme nous l'avons déjà vu dans la 2ème leçon, les photorésistances changent de valeur ohmique en fonction de la lumière qu'elles reçoivent.

Dans l'obscurité, leur valeur ohmique tourne autour d'un mégohm, tandis qu'en pleine lumière, elle descend aux environs de 100 Ω.

Dans ce schéma (voir figure 133), nous utilisons à nouveau le circuit intégré NE.555, déjà utilisé dans le précédent circuit de la figure 131, non pas pour générer des ondes carrées, mais tout simplement pour comparer une tension.

Pour faire fonctionner le NE.555 comme un comparateur plutôt que comme un oscillateur, il suffit de relier ses broches différemment.

En comparant les deux schémas, vous remarquerez quelques petites différences du deuxième par rapport au premier :
- la broche 7 n'est pas utilisée,
- la broche 6 est reliée au positif de l'alimentation grâce à la résistance R3, tandis que dans le schéma précédent, la broche 6 était reliée à la broche 2,
- la photorésistance FR1 est reliée entre la broche 2 et la masse.

Quand la broche 2 reçoit une tension inférieure à 1/3 des 9 volts de l'alimentation, cela revient à dire qu'elle ne dépasse pas les 3 volts. Sur la broche de sortie 3 de IC1, on trouve une tension de 9 volts qui alimente l'anode de la diode LED DL2 qui, par conséquent, s'allume.

La première diode LED DL1 ne peut pas s'allumer car la tension positive arrive sur la cathode.

Quand la tension sur la broche 2 dépasse le 1/3 des 9 volts de l'alimentation, cela signifie qu'elle est supérieure à 3 volts. La tension sur la broche de sortie 3 est de 0 volt.

Par conséquent, la diode LED DL2 s'éteint et la diode LED DL1 s'al-

lume car c'est sur son anode que se présente la tension positive de 9 volts.

Maintenant que vous savez que pour allumer l'une des diodes il faut faire varier la tension sur la broche 2 de 3 volts, en plus ou en moins, vous comprendrez aisément la fonction du trimmer R2.

En le réglant sur sa résistance maximale, il suffira, pour diminuer la tension sur la broche 2, de masquer légèrement la photorésistance.

En le réglant sur sa résistance minimale, il faudra beaucoup de lumière pour abaisser la tension.

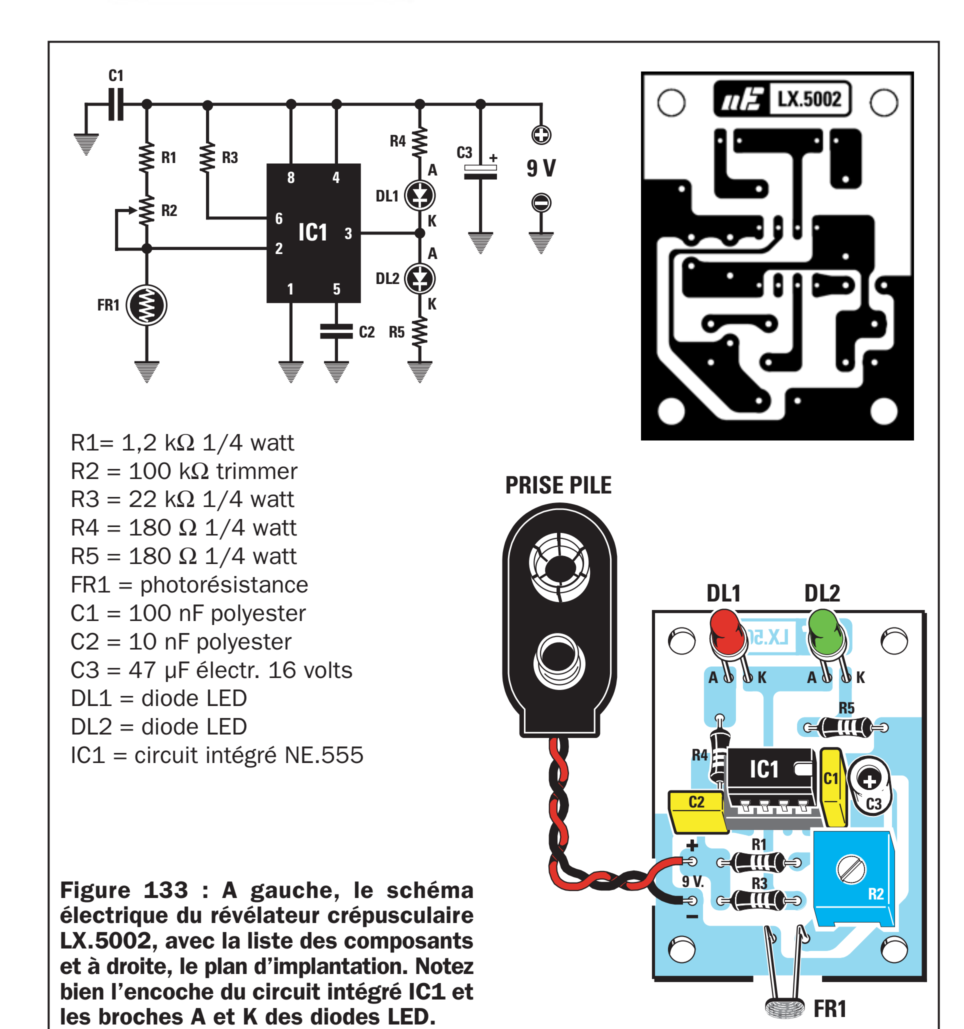
Passons maintenant à la réalisation pratique du circuit. Si vous choisissez la solution du kit, vous trouverez également sur le circuit LX.5002 une sérigraphie avec les symboles de tous les composants à insérer.

Le premier composant que vous devez mettre en place est le support pour le circuit intégré IC1, dont les broches doivent être soudées sur le côté opposé, c'est-à-dire sur les parties en cuivre.

Vous pouvez ensuite insérer le trimmer R2 et toutes les résistances, en tenant bien compte des indications concernant la valeur ohmique, n'hésitez pas au besoin à vous reporter à la liste des composants (voir figure 133).

Une fois les résistances soudées, insérez les deux condensateurs polyester C1 et C2 et l'électrolytique C3, en respectant la polarité positive et négative.

Soudez dans les trous indiqués par le sigle FR1, les deux pattes de la photorésistance, puis montez les deux diodes LED en plaçant l'anode dans le trou à gauche, indiqué par la lettre A (voir figure 133).



R1= 1,2 kΩ 1/4 watt
R2 = 100 kΩ trimmer
R3 = 22 kΩ 1/4 watt
R4 = 180 Ω 1/4 watt
R5 = 180 Ω 1/4 watt
FR1 = photorésistance
C1 = 100 nF polyester
C2 = 10 nF polyester
C3 = 47 µF électr. 16 volts
DL1 = diode LED
DL2 = diode LED
IC1 = circuit intégré NE.555

Figure 133 : A gauche, le schéma électrique du révélateur crépusculaire LX.5002, avec la liste des composants et à droite, le plan d'implantation. Notez bien l'encoche du circuit intégré IC1 et les broches A et K des diodes LED.

Le corps des deux diodes doit être maintenu à environ 1 cm du circuit imprimé.

Après avoir soudé les pattes des diodes, insérez le circuit intégré NE.555 à sa place, sans oublier de tenir compte de son encoche-détrompeur en U, qui devra être tournée vers le condensateur polyester C1 (voir figure 133).

Pour finir, soudez les fils du connecteur de la pile, en insérant le rouge dans le trou marqué d'un « + » et le noir dans celui marqué d'un « – ».

Vous pouvez à présent installer la pile de 9 volts et voir s'allumer immédiatement la diode LED DL2.

Si vous couvrez la photorésistance avec un tissu foncé, vous verrez s'éteindre la diode DL2 et s'allumer la diode DL1.

En faisant l'essai de nuit, vous constaterez qu'en passant d'une pièce éclairée à une autre obscure, on remarque le même phénomène.

Pour varier la sensibilité à la lumière, il suffira de régler le curseur du trimmer R2 à l'aide d'un tournevis. ◆

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

L'une des erreurs les plus communes commises par les débutants qui veulent étudier l'électronique pour construire eux-mêmes leurs propres appareils est de trop se pencher sur la théorie au détriment de la pratique.

S'il est vrai que sans théorie, il est impossible de concevoir un circuit, il n'en est pas moins vrai que pour contrôler le parfait fonctionnement d'une réalisation, il est indispensable de la monter, c'est-à-dire de souder sur un circuit imprimé conçu à cet effet, des composants, tels que des résistances, des condensateurs, des transistors, etc.

Si vous n'apprenez pas à souder, vous réussirez difficilement à faire fonctionner le moindre projet. Ne sous-évaluez donc pas cette leçon, mais lisez-la attentivement car une fois les techniques acquises, vous obtiendrez des soudures parfaites et vous pourrez commencer immédiatement à monter les circuits que nous publierons par la suite, sans être arrêté par cette première étape.

Vos premières soudures ne seront, évidemment, pas parfaites, mais vous vous apercevrez qu'avec un peu de pratique, elles s'amélioreront et vous réussirez très vite à monter et à faire fonctionner tous ces circuits qui, aujourd'hui, vous semblent encore si compliqués.

Pour vous permettre d'effectuer vos premiers essais d'électronique, nous avons préparé un kit dans lequel vous trouverez un fer à souder et de la soudure, ainsi que des diodes LED et des résistances (voir le paragraphe « où trouver les composants » en fin d'article).

Apprendre à souder les composants électroniques

Quel que soit l'appareil électronique que vous voulez réaliser, vous devrez toujours souder sur un circuit imprimé les composants nécessaires à son fonctionnement, c'est-à-dire les transistors, les résistances, les condensateurs, les diodes, etc.

Par conséquent, si vous n'apprenez pas auparavant à souder correctement, vous ne réussirez même pas à faire fonctionner le plus élémentaire circuit électronique. Comme vous le savez probablement déjà, la soudure sert à réunir deux ou plusieurs conducteurs à l'aide d'une fine couche de métal, qui n'est autre que l'étain du fil à souder (soudure). La soudure, portée par le fer à souder à température de fusion, permet d'obtenir, une fois refroidie, une jonction capable de laisser passer même le courant électrique le plus faible.

A notre connaissance, personne n'a jamais vraiment expliqué la bonne marche à suivre pour obtenir des soudures parfaites. Nous essaierons de vous l'enseigner, en vous révélant tous les « trucs » permettant d'éviter les erreurs à ne pas commettre. Après cette leçon, tous les circuits que vous monterez fonctionneront instantanément (pour peu que vous respectiez les indications de montage !).

Figure 134 : On peut trouver des fers à souder électriques de formes et de puissances différentes, capables de fonctionner avec la tension secteur 220 volts ou bien avec une tension de seulement 28 ou 30 volts. Pour souder les pattes de n'importe quel composant sur un circuit imprimé, un fer à souder d'une puissance comprise entre 15 et 25 watts suffit.

Le fer à souder électrique

L'instrument utilisé pour faire fondre la soudure n'est autre que le fer à souder. On en trouve dans le commerce, de formes et de puissances variables (voir figure 134).

Beaucoup fonctionnent avec un branchement direct sur secteur à 220 volts, mais il en existe également qui fonctionnent en basse tension 20/28 volts, nécessitant alors un transformateur permettant de réduire la tension secteur 220 volts à cette tension de fonctionnement.

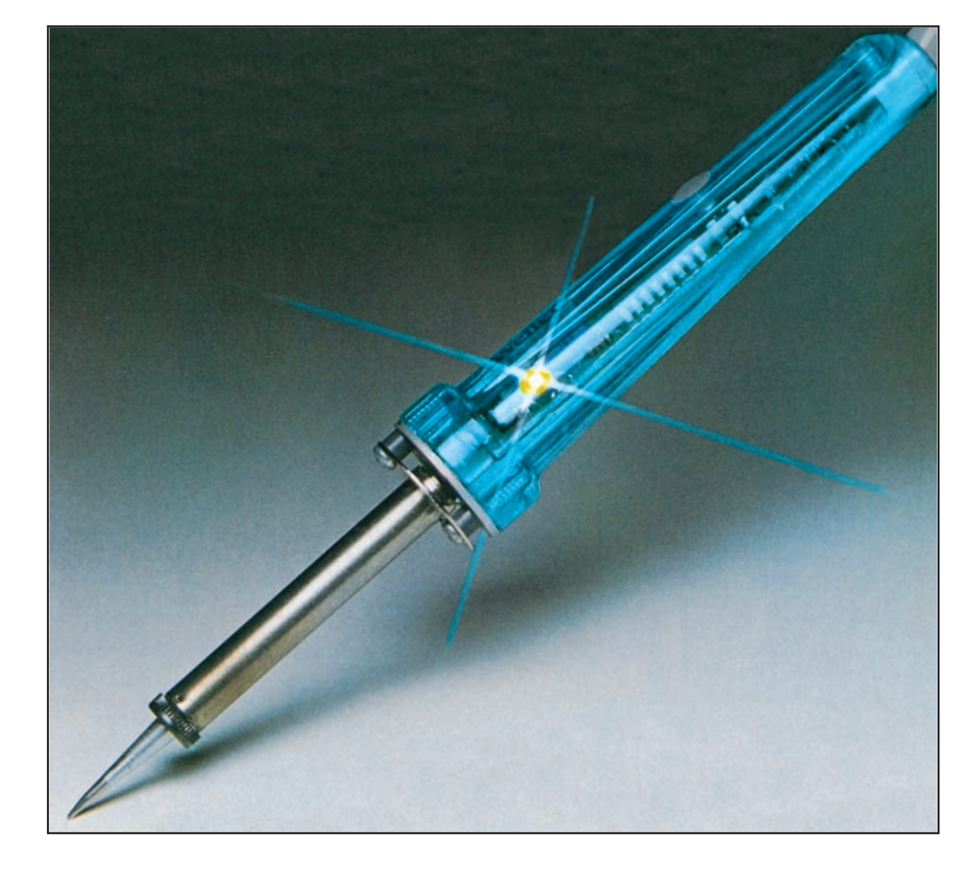
Les prix sont très variables et les fers à souder les plus chers sont équipés d'un thermostat interne capable de

maintenir une température constante sur la « panne » (l'extrémité chauffante permettant la soudure).

Un fer à souder économique fera parfaitement l'affaire pour commencer car il permettra de faire des soudures tout aussi réussies qu'un fer plus coûteux. La soudure parfaite ne dépend pas tant du fer à souder que de la main qui soude !

A l'intérieur de chaque fer à souder se trouve une résistance électrique en nickel-chrome qui, en chauffant, porte la panne en cuivre se trouvant à son extrémité à une température située entre 280 et 350 degrés.

Pour souder les pattes de n'importe quel composant électronique sur les pistes d'un circuit imprimé, il suffit d'avoir un fer à souder d'une puissance de 15 à 25 watts, pourvu d'une panne (embout en cuivre) fine, afin d'éviter de déposer de la soudure sur les pistes voisines de celles que l'on soude.



Ce choix oblige à disposer d'un fer plus puissant pour les travaux de « grosse » soudure. Pour souder des composants de dimensions plus importantes, ou des morceaux de tôle fine ou encore des fils de cuivre de fort diamètre, il faut un fer à souder plus puissant, d'environ 40 à 60 watts, afin d'éviter que la surface à souder ne refroidisse la panne.

En effet, si la puissance du fer à souder se révélait insuffisante, la soudure, dès qu'elle rentrerait en contact avec les éléments à souder, passerait trop rapidement de l'état liquide à l'état solide sans « adhérer » car le léger voile d'oxyde, toujours présent sur la surface d'un métal, n'aurait pas le temps de se brûler.

Cet invisible voile d'oxyde doit être éliminé. Dans le cas contraire, les électrons ne pourront pas passer car il a l'effet d'une infranchissable pellicule isolante.

C'est pourquoi on utilise en électronique une soudure particulière, dite « décapante », capable de fondre et de brûler tous les oxydes. En fait, tous les métaux, même ceux qui semblent en apparence parfaitement propres, se couvrent, au contact de l'air, d'une mince couche d'oxyde sur laquelle vient s'ajouter également, un très léger voile de graisse, chaque fois qu'on le touche avec les mains.

Vous pouvez observer le même phénomène en posant vos doigts, que vous aurez au préalable jugé propres et secs, sur des verres de lunettes, car ils y laisseront clairement vos empreintes digitales.

Vous saurez donc, à présent, que les pistes en cuivre d'un circuit imprimé et toutes les pattes des résistances, des condensateurs, des diodes, des transistors, etc., même si elles semblent être propres en apparence, sont toujours recouvertes d'une couche d'oxyde qui doit être éliminée pour obtenir un contact électrique parfait.

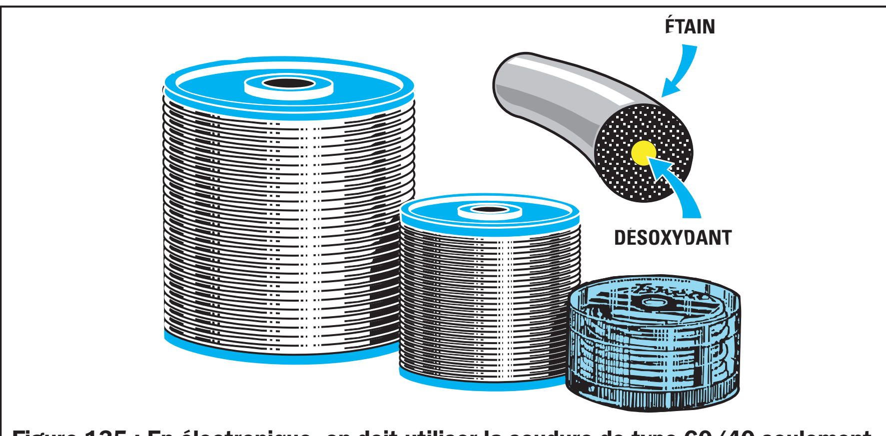


Figure 135 : En électronique, on doit utiliser la soudure de type 60/40 seulement. Bien qu'elle soit invisible à l'œil nu, on y trouve une substance désoxydante servant à décaper la surface à souder.

La soudure

Pour les montages électroniques, on ne peut pas utiliser n'importe quelle soudure achetée dans le commerce. En général, la première erreur commise par le débutant et toujours lourde de conséquences, est, justement, d'acheter une soudure quelconque en ignorant qu'il puisse exister une différence entre la soudure commune et la soudure spéciale électronique.

La soudure est un alliage, composé d'étain pur et de plomb, et dont le pourcentage est habituellement indiqué sur l'emballage avec deux nombres, par exemple 60/40, 50/50 ou 33/67.

Le premier indique la quantité d'étain. Le second indique la quantité de plomb.

La soudure utilisée en électronique peut se trouver en fil de plusieurs diamètres

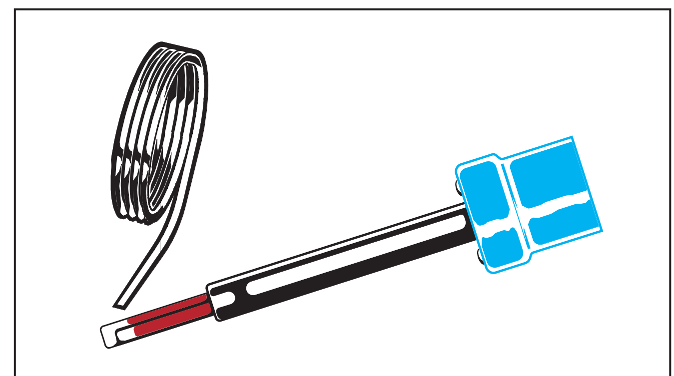


Figure 136 : Avant d'utiliser un nouveau fer à souder vous devez le mettre sous tension, attendre que sa panne chauffe et faire fondre sur toute sa surface un peu de soudure de type 60/40. Le désoxydant qu'elle contient permettra de nettoyer la panne en éliminant toute trace d'oxyde.

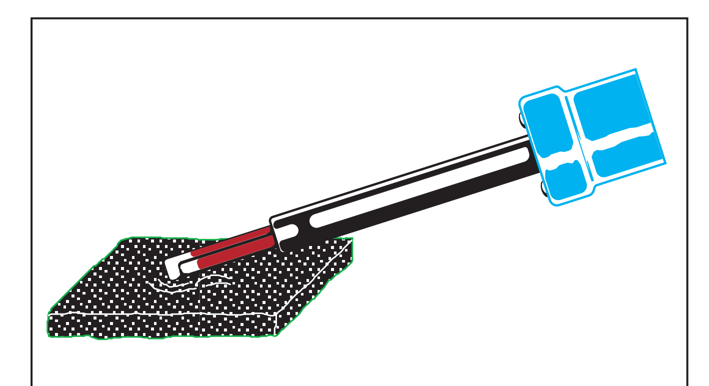


Figure 137 : Après avoir déposé l'étain sur la panne, vous devez en éliminer l'excédant en la frottant sur un feutre ou une éponge humide. Lorsque vous souderez, veillez à ce que la panne soit toujours parfaitement propre.

différents. Ce qui nous sera le plus utile sera une bobine de soudure de diamètre 2 mm pour les gros travaux et de 1 millimètre ou mieux 8/10 de millimètre pour les soudures courantes. Plus encore que la qualité du fer à souder, la qualité de la soudure a une importance extrême. Le fer à souder a la mission de chauffer de façon temporaire les éléments et de porter la soudure à sa température de fusion, tandis que la soudure elle-même a la mission de réunir électriquement et pour une longue durée plusieurs éléments entre-eux. Un fer de piètre qualité, pourvu que sa panne soit propre, assurera toujours sa mission. Une mauvaise soudure, elle, entraînera toujours, à terme, une panne. Si nous n'avions qu'un seul conseil à vous donner ce serait : lésinez sur tout, sauf sur la qualité de la soudure !

A l'intérieur de ce fil et sur toute sa longueur, imperceptible à l'œil nu, se trouve une pâte chimique dite « désoxydante », qui, durant la chauffe, fond en même temps que la soudure.

Dès que le désoxydant entre en contact avec une patte oxydée, il réagit instantanément en brûlant la fine couche d'oxyde et de saletés toujours présentes sur la surface, permettant ainsi à la soudure de se déposer sur un métal parfaitement propre et d'y adhérer.

Les alliages de soudure les plus communs sont :

60/40 : Cet alliage, composé de 60 % d'étain et de 40 % de plomb, est la seule à pouvoir être utilisée pour les montages électroniques.
On trouve à l'intérieur de cette soudure un désoxydant non corrosif qui nettoie parfaitement les surfaces à souder sans provoquer de « dégradation moléculaire » des métaux.
En fait, cette soudure n'étant pas acide, on n'obtiendra jamais de phénomène d'électrolyse, même lorsque l'on devra souder ensemble plusieurs types de métaux différents.
Cette soudure fond à une température d'environ 190-195 degrés.

50/50 : Cet alliage ne peut pas s'utiliser dans les montages électroniques, non seulement parce qu'il contient une quantité plus importante de plomb, mais également parce qu'on y trouve un désoxydant légèrement acide qui entraînerait, avec le temps, une corrosion de la piste de cuivre du circuit imprimé.
Cet alliage fond à une température d'environ 210-215 degrés.

33/67 : Cet alliage, composé de 33 % d'étain et de 67 % de plomb, sert seulement à souder les récipients car il contient un désoxydant très acide.
Il fond à une température d'environ 250-255 degrés.

Les désoxydants de mauvaise qualité

Il faut savoir qu'il existe des types de soudure à 60/40 contenant un piètre désoxydant. Si vous deviez en utiliser, vous vous en apercevriez dès la première soudure.

Tous les désoxydants d'excellente qualité laissent sur les bords des soudures un petit voile vitrifié transparent de couleur jaune, qui se casse et s'effrite comme du verre si vous appuyez dessus à l'aide d'une aiguille.

Les désoxydants de mauvaise qualité, eux, laissent au contraire sur les bords de la soudure une substance caoutchouteuse très foncée. Si vous la touchez à l'aide d'une aiguille, elle vient s'y coller comme du chewing-gum.

La soudure qui laisse ce genre de dépôt doit être absolument écartée car, dans le cas où vous devriez souder deux pistes très proches, ce désoxydant, qui a toujours une très faible résistance ohmique, laisserait une patine conductrice qui relirait électriquement les pistes voisines.

Les expériences effectuées sur ces désoxydants caoutchouteux montrent qu'ils agissent comme une résistance carbone invisible de quelques milliers d'ohms. Si vous avez déjà soudé des composants sur un circuit imprimé avec un désoxydant de mauvaise qualité, il faudra le nettoyer méticuleusement en le faisant disparaître à l'aide

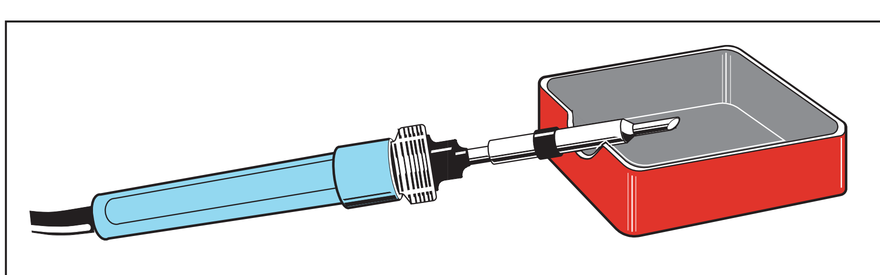


Figure 138 : Pour poser le fer à souder lorsqu'on ne l'utilise pas, il est utile de disposer d'une petite boîte métallique sur laquelle vous pouvez pratiquer une encoche afin d'assurer une pose stable. Vous pouvez aussi placer à l'intérieur de cette boîte, un morceau de feutre ou d'éponge humide pour nettoyer la panne chaque fois que nécessaire.

d'un coton-tige imbibé d'un solvant pour peinture, que vous trouverez dans n'importe quel magasin spécialisé. Si vous ne retirez pas ce désoxydant du circuit imprimé, il ne pourra jamais fonctionner correctement ou même jamais fonctionner du tout, car toutes les pistes resteront reliées entre elles par la faible résistance ohmique dudit désoxydant.

Accessoires utiles

Nous vous conseillons de vous procurer, en plus du fer à souder et de la soudure, ces quelques accessoires très utiles :

- des limes à ongles « carton », qui vous serviront pour retirer des fils de cuivre émaillé leur verni isolant.

- une petite boîte en métal, très utile pour poser le fer à souder entre deux soudures (voir figure 138) et pour recueillir d'éventuelles gouttes de soudure fondue qui, autrement, pourraient tomber sur votre plan de travail et l'endommager. Une simple boîte à bonbons (ou à sardines !) fera un parfait support lorsque vous y aurez fait une encoche sur un bord pour permettre le bon maintien du corps du fer à souder.

- un morceau de feutre ou d'éponge, qui, humecté au préalable avec de l'eau, vous permettra d'y frotter la panne pour la débarrasser des surplus de soudure ou des résidus de décapant brûlé.

- une pince coupante spéciale électronique, outil indispensable pour couper les pattes des composants dépassant de la surface du circuit imprimé.

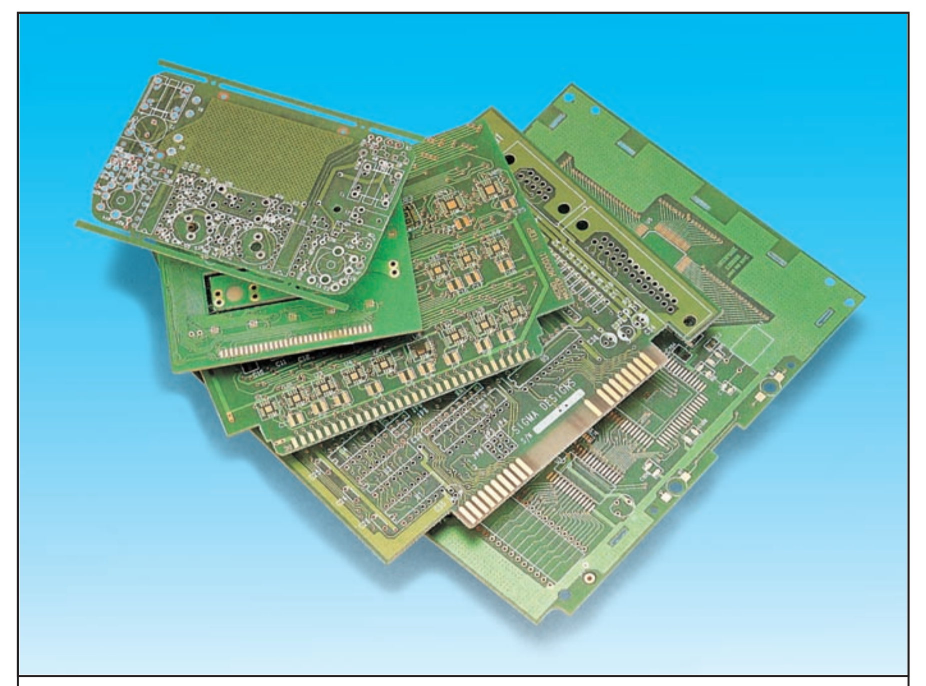


Figure 139 : Aujourd'hui, pour réaliser un montage, tous les composants sont montés sur un circuit imprimé où figurent de nombreuses pistes de cuivre permettant de relier les différents composants comme le veut le schéma électrique. Les circuits imprimés peuvent être à simple face ou à double face (voir les figures 151 et 152).

Préparer la panne du fer à souder

Avant d'utiliser un nouveau fer à souder, vous devrez déposer sur toute la surface de la panne prévue pour la soudure une fine couche de soudure. On dit « étamer la panne ».

Dès que votre fer à souder tout neuf aura atteint sa température de travail, appuyez la soudure sur la panne et laisser fondre copieusement mais sans excès. Attendez que le désoxydant brûle la couche d'oxyde présente sur la surface de la panne. Quand l'oxyde se sera complètement brûlé, vous verrez la soudure se propager sur toute la surface de la panne. Secouez alors d'un coup sec le fer à souder au-dessus de votre boîte en tôle pour faire tomber la goutte de soudure. Nettoyez alors à nouveau, immédiatement, la panne encore chaude en la passant sur l'éponge ou le feutre humide afin d'enlever tout excès de soudure et les résidus de décapant brûlé. La soudure doit être éliminée de la surface de la panne car on

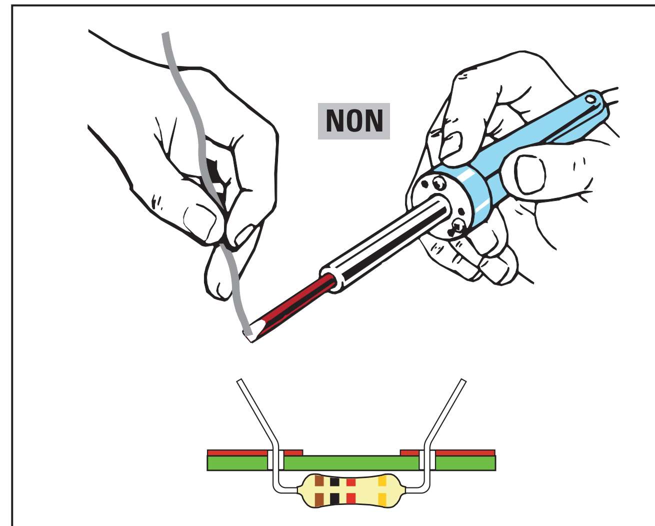


Figure 140 : Pour obtenir des soudures parfaites, vous ne devez jamais faire fondre l'étain sur la panne du fer à souder pour le déposer ensuite sur la patte du composant, car le désoxydant décapera la panne et non la patte en question, sale et oxydée, du composant à souder.

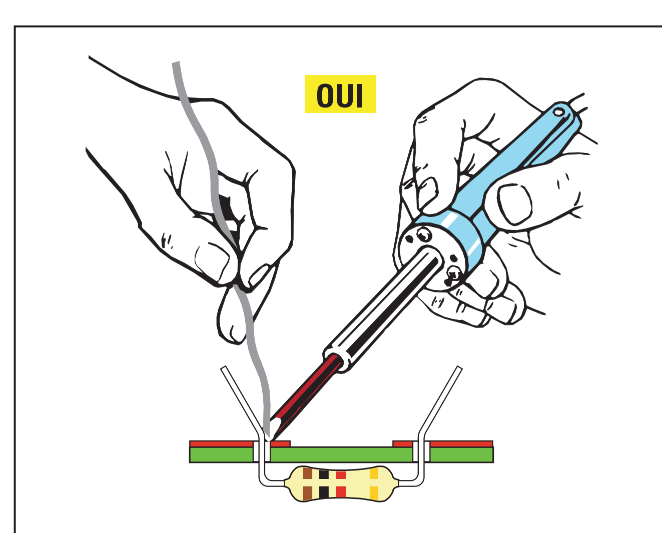


Figure 141 : Les soudures seront parfaites seulement si vous appliquez la panne propre sur la piste du circuit imprimé et faites fondre à côté l'étain nécessaire. Le désoxydant parviendra ainsi à brûler les oxydes présents sur la patte du composant et sur le circuit imprimé.

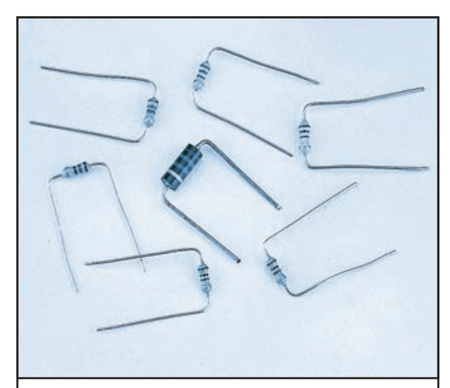


Figure 142 : Avant d'insérer toutes les résistances et les diodes dans les trous présents sur le circuit imprimé, nous vous conseillons de plier les broches des composants, tout en gardant leur corps au centre.

ne peut plus l'utiliser, le désoxydant qu'elle contenait étant déjà brûlé. Si on la conservait, on verrait se former la pellicule isolante sur le circuit imprimé, entre la patte du composant et la soudure (voir les figures 155 et 156).

Comment souder

Pour souder n'importe quelle patte de n'importe quel composant électronique, vous devrez toujours procéder comme suit :

1. Appuyez la panne parfaitement propre du fer à souder, c'est-à-dire sans soudure, sur la piste du circuit imprimé ainsi que sur la patte devant être soudée de façon à les chauffer (voir figure 141).

2. Après quelques secondes, approchez la soudure de la piste et faites-en fondre une toute petite quantité, pas plus de 2 ou 3 mm environ. Sinon, vous risqueriez tout simplement de gâcher de la soudure inutilement en faisant un pâté !

3. Maintenez le fer à souder pendant environ 5 à 6 secondes à l'endroit où vous avez fondu la soudure, pour permettre au désoxydant de brûler tous les oxydes présents sur les surfaces.

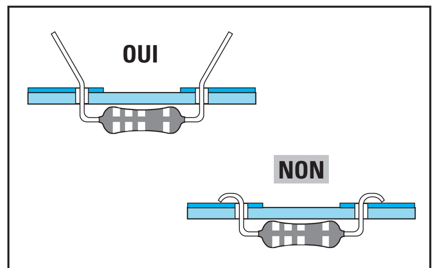


Figure 143 : Pour éviter que la résistance ne quitte son emplacement en retournant le circuit imprimé, vous devez écarter ses broches. Ne les repliez jamais complètement sur les pistes du circuit imprimé.

4. Pendant ces quelques secondes, vous verrez s'échapper un mince filet de fumée, produit par les oxydes qui se volatilisent (évitez de respirez ces émanations !).

5. La soudure n'adhérera parfaitement aux surfaces propres qu'après que tous les oxydes se soient brûlés, assurant ainsi un bon contact électrique.

6. Une soudure parfaite se reconnaît tout de suite car la goutte de soudure garde non seulement une belle couleur argent mais, en plus, elle se dépose uniformément tout autour de la patte (voir figure 154).

7. Une opération de soudage terminée, vous devrez systématiquement, avant de commencer la suivante, nettoyer la panne du fer à souder de toute trace de soudure restante en la passant sur le feutre ou l'éponge humide que vous devez toujours conserver à portée de main.

8. Comme nous l'avons déjà évoqué, la raison pour laquelle il faut retirer la soudure est très simple. Cette soudure ne contient plus de désoxydant et, par conséquent, ne peut plus brûler les oxydes se trouvant sur les surfaces à souder.

9. Une soudure imparfaite se reconnaît immédiatement à la couleur grise opaque, terne, qu'elle prend ainsi qu'à l'aspect rugueux d'une peau d'orange qu'elle revêt en surface (voir les figures 154 et 155).

10. Il vous est toujours possible de refaire une soudure mal faite en y appliquant la panne du fer à souder bien propre et en faisant fondre, sur la piste du circuit imprimé, une nouvelle goutte de soudure. Une fois la soudure uniformément déposée autour de la patte, vous pouvez retirer le fer à souder.

11. Si vous vous apercevez que vous avez mis trop de soudure, vous pouvez la retirer en y appliquant une panne parfaitement propre. Ainsi, la soudure en excédent viendra se déposer sur la panne que vous n'aurez alors plus qu'à nettoyer en secouant le fer au-dessus de la boîte en métal et en essuyant la panne sur le feutre ou l'éponge humide. En répétant plusieurs fois cette opération, vous parviendrez même à extirper des excédents importants. Néanmoins, évitez d'utiliser cette méthode sur les composants fragiles qui supporteront mal les surchauffes successives. Il faudra utiliser, dans ce cas, soit de la tresse soit une pompe à dessouder (voir les figures 163 et 164).

12. Si toutes vos soudures vous semblent ternes et rugueuses, changez de soudure, car celle que vous utilisez est certainement du type 50/50, et ne convient donc pas aux montages électroniques.

Le circuit imprimé

Tous les composants électroniques sont généralement montés sur des circuits imprimés sur lesquels se trouvent des pistes de cuivre formant un dessin, de manière à relier entre elles toutes les pattes des composants, comme sur le schéma électrique.

Sur la plupart des circuits imprimés professionnels, on trouvera, du côté des composants, une sérigraphie (voir figure 150), c'est-à-dire un dessin représentant les silhouettes de tous les composants à monter, avec les sigles qui les distinguent, par exemple R1, R2, etc. (les résistances), C1, C2, etc. (condensateurs), DS1, DS2, etc. (diodes), TR1, TR2, etc. (transistors).

On dit d'un circuit imprimé qu'il est simple face quand les pistes en cuivre sont présentes sur un seul côté du support isolant (voir figure 151), et qu'il est double face quand les pistes se trouvent des deux côtés du support (voir figure 152).

Dans les circuits imprimés double face, les pistes en cuivre présentes sur l'un des côtés sont électriquement reliées à celles présentes sur l'autre, grâce à une fine couche de cuivre se trouvant plaquée sur la surface interne de chaque trou. On dit de ce circuit que

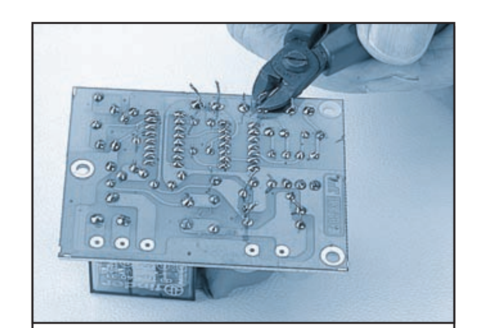


Figure 144 : Après avoir soudé les pattes d'un composant, vous devez en couper l'excédent à l'aide d'une pince coupante. Portez des lunettes pour vous protéger des projections.



Figure 145 : Tous les fers à souder professionnels, c'est-à-dire les plus coûteux, sont dotés d'une série de pannes interchangeables de formes différentes. Les pannes fines sont utilisées pour souder les broches très rapprochées, les pannes moyennes pour des soudures normales et les plus larges, pour souder des surfaces importantes.

c'est un circuit imprimé double face à trous métallisés (figure 152)

Il ne faut jamais agrandir les trous d'un circuit double face à trous métallisés, sous peine d'éliminer cette couche de cuivre et, par conséquent, de supprimer la liaison électrique entre les pistes supérieures et inférieures. Dans le cas où il est impossible de faire autrement, il faudra souder la patte du composant de chaque côté du circuit pour rétablir la liaison.

Comment souder les condensateurs

Pour souder les pattes des condensateurs polyesters, céramiques ou électrolytiques sur un circuit imprimé, il suffit de les insérer dans les deux trous prévus à cet effet, en appuyant leur corps sur la surface du circuit imprimé (voir figure 157).

Pour éviter que ces composants ne se déboîtent quand vous retournez le circuit imprimé pour les souder, il vous suffit d'écarter légèrement leurs pattes, comme indiqué à gauche de la figure 157.

Comme fatalement les pattes dépasseront, vous devrez, après les avoir soudées, en couper l'excédant à l'aide d'une pince coupante. Attendez, pour ce faire, que la soudure soit froide (ne jamais souffler sur une soudure pour accélérer son refroidissement).

Ne repliez surtout jamais des pattes à angle droit car, si vous deviez plus tard retirer le composant, cela compliquerait l'opération et vous risqueriez d'endommager les pistes en cuivre.

Comment souder les résistances

Avant de souder une résistance sur un circuit imprimé, vous devez replier les deux pattes en U, en essayant de maintenir le corps parfaitement au centre, par souci d'esthétique (voir figure 142).

Après avoir replié les pattes à l'aide d'une petite pince, insérez-les dans leur logement, en veillant à ce que le corps de la résistance appuie bien sûr la surface du circuit imprimé (voir figure 158).

Afin d'éviter que la résistance ne tombe lorsque vous retournerez le circuit imprimé, pensez à écarter légèrement les pattes (voir figure 143).

Les pattes des résistances étant toujours très longues, vous devrez les raccourcir à l'aide d'une pince coupante. Si vous remarquez qu'elles sont très oxydées, avant de les souder, nettoyez-les en les frottant légèrement avec un papier de verre très fin.

Comment souder les diodes

Pour souder les diodes de redressement et les diodes zener, on utilise la même technique que pour les résistances, tout en respectant la polarité de leurs broches en les insérant dans le circuit imprimé.

Comme nous l'avons déjà vu, si on inverse l'anode et la cathode, le circuit ne pourra jamais fonctionner. La position de l'une et de l'autre devrait, normalement, toujours être indiquée sur le circuit imprimé.

Comment souder les diodes LED

Pour souder les diodes LED sur le circuit imprimé, il faut également veiller à leur polarité (voir figure 159).

Le corps de ces diodes ne doit jamais s'appuyer sur le circuit imprimé, mais

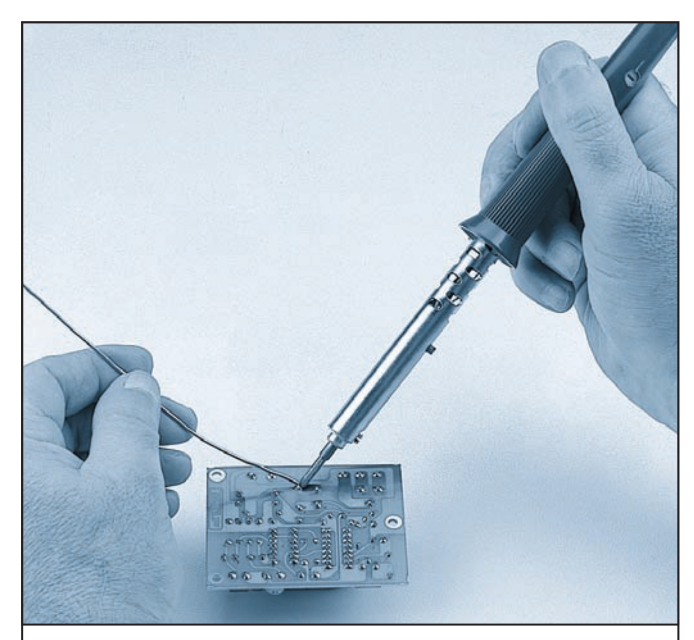


Figure 146 : Après avoir fondu l'étain sur la patte qui dépasse du circuit imprimé, vous devez maintenir le fer à souder sur la piste jusqu'à ce que l'étain se soit déposé tout autour de cette dernière.

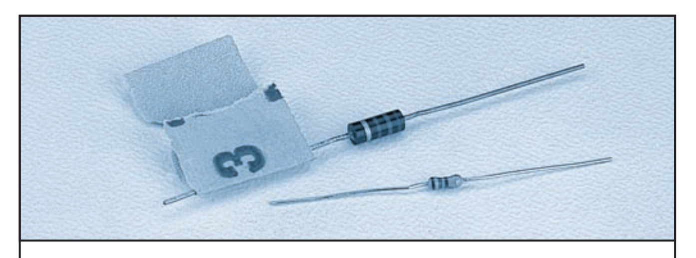


Figure 147 : Si vous remarquez que la patte d'un composant est très sale ou oxydée, vous devez avant tout la nettoyer à l'aide d'un morceau de papier de verre très fin, puis déposer une fine couche d'étain sur sa surface. On dit « étamer ».

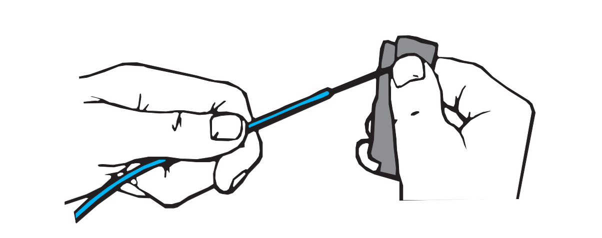


Figure 148 : Tous les fils de cuivre émaillé sont recouverts d'une couche de vernis isolant, c'est pourquoi il faut les gratter pour les mettre à nu, avant de les souder.

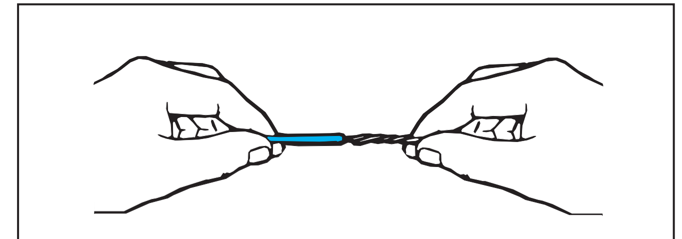


Figure 149 : Avant de souder les fils souples très fins des câbles recouverts de plastique, vous devez toujours les torsader pour éviter qu'ils ne s'effilochent.

doit toujours être maintenu à une distance d'environ 5 mm ou plus.

Les 5 mm de pattes ainsi laissés entre le corps et le circuit imprimé éviteront que la chaleur de la soudure en fusion n'atteigne et ne détruise la minuscule puce placée à l'intérieur de la diode LED.

Comment souder les transistors

Les trois pattes des transistors, l'émetteur, la base et le collecteur, sont insérés sur le circuit imprimé dans leurs trous respectifs, en faisant bien attention à leur disposition.

En général, on trouve sur tous les circuits imprimés les lettres E, B, et C indiquant le trou correspondant, ou bien alors le dessin de la forme demi-circulaire du corps, afin d'éviter toute erreur possible.

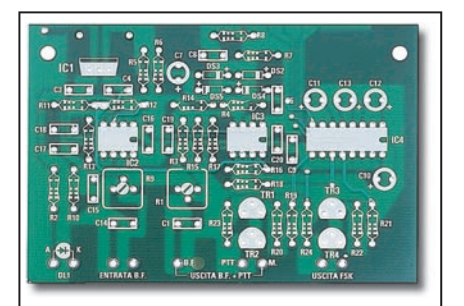


Figure 150 : Une sérigraphie est la représentation de chaque élément sur le côté composant du circuit imprimé. Tous les circuits de bonne facture sont ainsi sérigraphiés.

Le corps plastique des transistors de basse puissance doit être maintenu à une distance d'environ 8 ou 10 mm de la surface du circuit imprimé, c'est pourquoi vous ne devrez jamais en raccourcir les pattes (voir figure 160).

Ainsi, la chaleur de la soudure ne pourra pas atteindre la puce microscopique contenue à l'intérieur du transistor, ni risquer de l'endommager.

Grâce à ces 8 ou 10 mm, on pourra donc, sans crainte, maintenir le fer à souder plus longtemps à l'endroit de la soudure.

Note : On appelle « puce » le microcircuit interne du semi-conducteur.

Pour des raisons esthétiques, essayez de placer le corps du transistor en position verticale et non pas en position inclinée.

Comment souder les ponts redresseurs

Vous devez insérer les quatre pattes du pont redresseur sur le circuit imprimé, dans leurs trous respectifs, en faisant bien attention à insérer les deux pattes marquées d'un S (symbole de la tension alternative), dans les deux trous correspondant à cette même tension, et la broche du positif dans le trou marqué « + ».
Il faut éviter de laisser le corps appuyer sur le circuit imprimé car il a tendance à chauffer (voir figure 162). Un espace de 5 mm environ sera parfait.

Comment souder un fil de cuivre émaillé

Il est nécessaire, avant de souder un fil de cuivre émaillé sur un circuit imprimé, de le préparer en retirant de sa surface la couche isolante qui le recouvre et qui est souvent confondue, par le néophyte, avec le fil lui-même, car de couleur pratiquement identique.

Pour cela, grattez l'extrémité devant être soudée à l'aide de la lime à ongles (voir figure 148).

Après avoir retiré cette couche de vernis, nous vous conseillons de déposer une fine couche de soudure sur l'extrémité du cuivre dénudé (on dit également « étamer » le fil).

Le dessoudage

Si, pendant la soudure, on produit un excès d'étain fondu, on risque de raccorder deux pistes et de provoquer ainsi un court-circuit (les électroniciens disent « faire une bouse »).

Pour l'éviter, nous vous conseillons de maintenir le fer à souder en position presque verticale et de fondre sur la partie à souder 2 ou 3 millimètres de soudure au plus.

Après avoir effectué toutes les soudures, il est préférable de les vérifier à la loupe afin d'éviter des courts-circuits, surtout lorsqu'il s'agit des

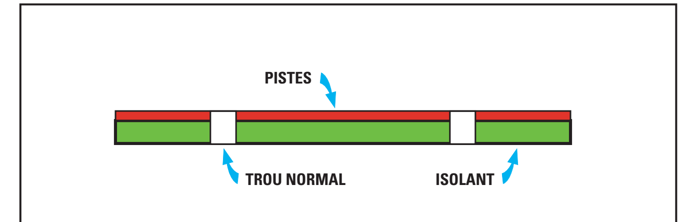


Figure 151 : Sont appelés « simple face » les circuits imprimés dont les pistes en cuivre figurent sur un même côté du support isolant.

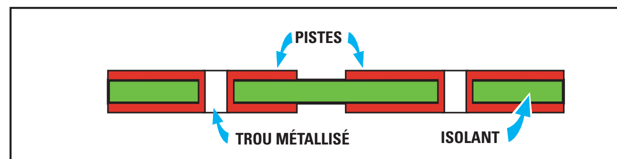


Figure 152 : Sont appelés « double face » les circuits imprimés dont les pistes en cuivre figurent sur les deux côtés du support isolant. Lorsqu'un circuit est double face à trous métallisés, l'intérieur de chaque trou est recouvert d'une couche de cuivre reliant les pistes inférieures aux pistes supérieures.

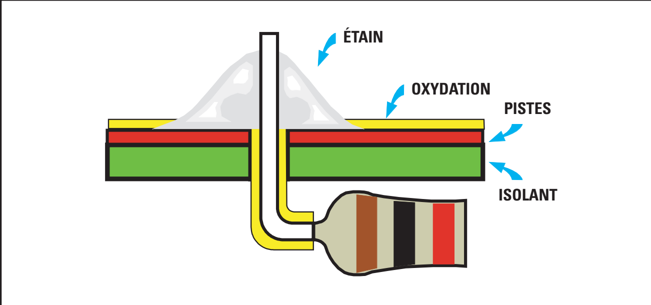


Figure 153 : On reconnaît une soudure parfaite à la couleur argent de l'étain uniformément répandu.

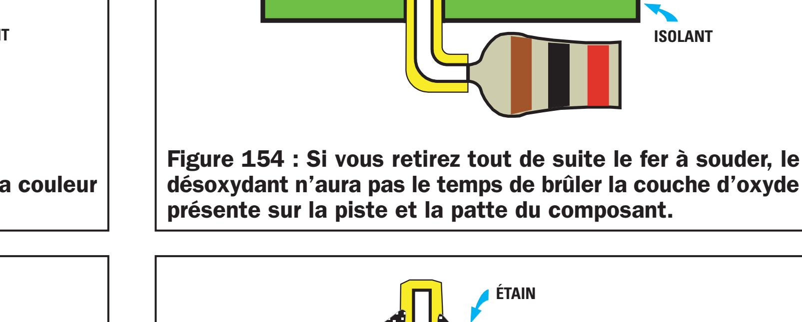


Figure 154 : Si vous retirez tout de suite le fer à souder, le désoxydant n'aura pas le temps de brûler la couche d'oxyde présente sur la piste et la patte du composant.

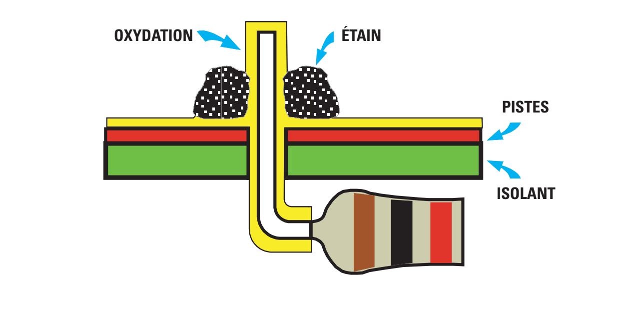


Figure 155 : Ne déposez jamais d'étain déjà utilisé sur l'endroit à souder, car il est dépourvu de désoxydant.

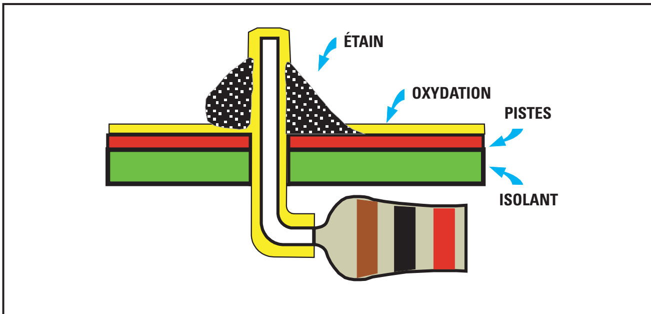


Figure 156 : Une soudure mal faite est rugueuse, terne et conserve un voile d'oxyde isolant.

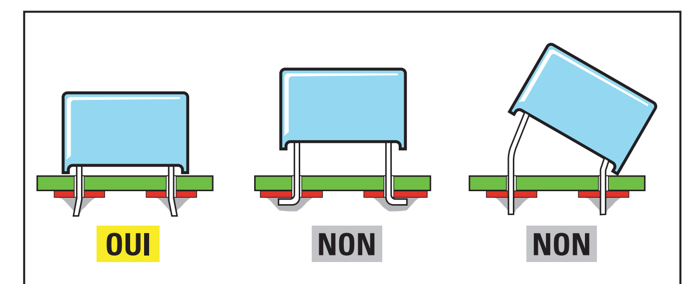


Figure 157 : Le corps d'un condensateur doit toujours s'appuyer sur le circuit imprimé afin d'obtenir une meilleure présentation esthétique du montage.

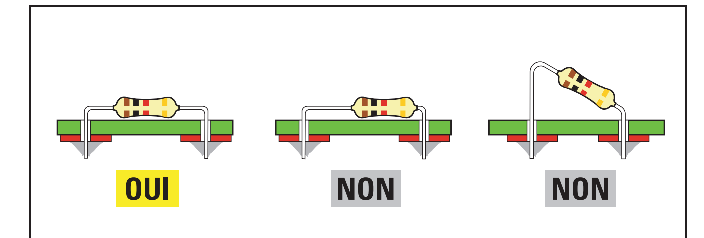


Figure 158 : Le corps des résistances doit également être appuyé sur le circuit imprimé. Si vous désirez obtenir un montage d'aspect professionnel, ne montez pas les résistances comme sur les dessins indiqués avec un NON.

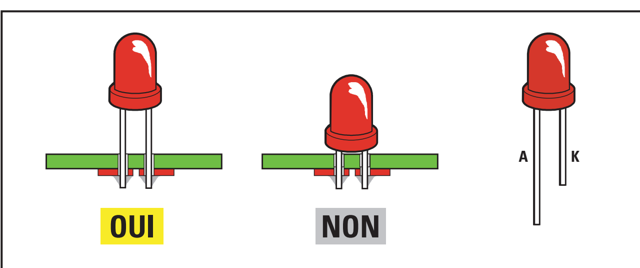


Figure 159 : Les diodes LED doivent être montées en tenant leurs corps à une distance d'environ 5 mm du circuit imprimé. Rappelez-vous que la patte la plus longue est l'anode et l'autre la cathode.

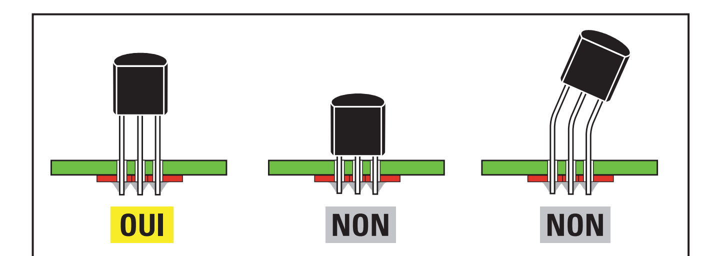


Figure 160 : Les transistors et les FET ne doivent pas non plus s'appuyer sur le circuit imprimé. Avant de souder leurs pattes, contrôlez toujours que le corps du transistor soit tourné du bon côté.

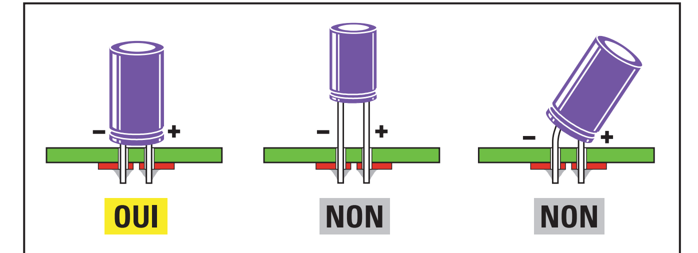


Figure 161 : Le corps des condensateurs électrolytiques doit toujours être appuyé sur le circuit imprimé. N'oubliez pas que les pattes de ces condensateurs sont polarisées.

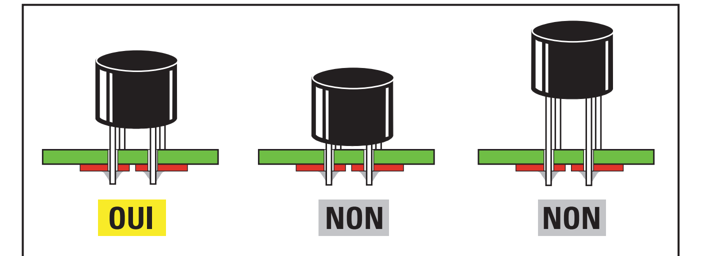


Figure 162 : Le corps d'un pont redresseur doit lui aussi être tenu à une distance d'environ 5 mm du circuit imprimé, comme sur le premier dessin à gauche (OUI).

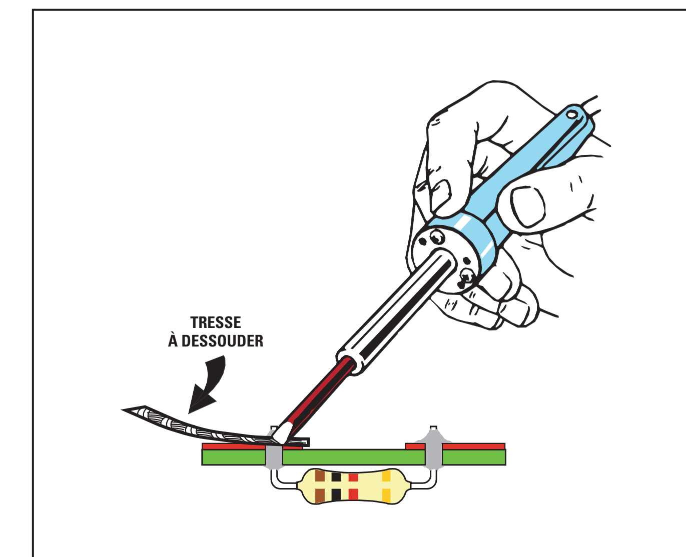


Figure 163 : Pour dessouder un composant, vous pouvez appliquer sur la soudure un morceau de tresse à dessouder. L'étain fondu par la panne du fer à souder sera alors absorbé par la tresse. Après chaque opération de dessoudage, il faut recouper la tresse en biseau.

Figure 164 : On trouve dans le commerce un outil appelé « pompe à dessouder », composée d'un piston et d'un ressort de rappel. Après avoir appuyé l'embout sur l'étain liquide, actionnez le poussoir de verrouillage du ressort pour que le piston aspire toute la soudure.

broches très proches des supports des circuits intégrés et des connecteurs.

Pour enlever une grosse goutte de soudure raccordant deux pistes voisines, vous devez d'abord nettoyer la panne du fer à souder en la passant sur le feutre ou l'éponge humide avant de pouvoir à nouveau l'appliquer sur la piste court-circuitée pour en prélever l'excédant de soudure.

Puis, nettoyez la panne et répétez l'opération jusqu'à ce que le court-circuit soit totalement éliminé.

Il est très important de savoir dessouder car on a souvent besoin de retirer d'un circuit un transistor grillé ou remplacer un composant par un autre pour changer sa valeur.

Afin d'éviter d'endommager les pistes, il est recommandé de retirer le plus de soudure possible pour faciliter l'extraction des broches.

Pour ce faire, si vous ne disposez pas de tresse à dessouder, la solution la plus économique est d'utiliser un morceau de tresse étamée, que vous pourrez prélever d'un câble blindé ou bien, une tresse de fils souples, provenant d'un simple câble électrique multibrin.

En appliquant la panne du fer à souder sur la tresse placée sur la soudure (voir figure 163), vous verrez la chaleur faire fondre l'étain qui, grâce au phénomène de la capillarité, sera absorbé par la tresse. En coupant le morceau de tresse usagé et en répétant cette même opération, vous réussirez à retirer la presque totalité de l'étain.

Vous devrez, bien sûr, couper chaque fois la partie de la tresse qui aura absorbé l'étain.

Si vous appuyez sur la tresse pendant que l'étain est au stade liquide, les broches des composants descendront vers le bas en en simplifiant l'extraction. C'est la raison pour laquelle nous vous avons déjà conseillé de ne jamais

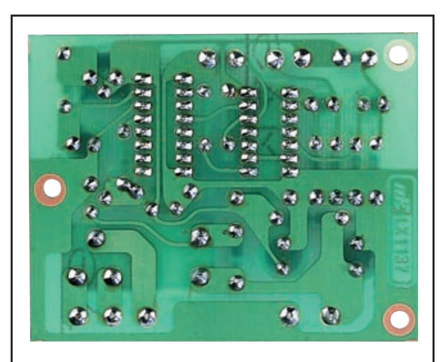


Figure 165 : Sur cette photo vous pouvez voir un circuit imprimé parfaitement réalisé. Avec un peu d'entraînement vous pouvez, vous aussi, obtenir ce même résultat.

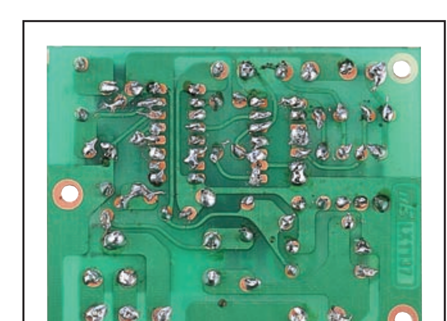


Figure 166 : Si vos soudures ressemblent à celles de cette photo, vos circuits auront bien du mal à fonctionner. Dans ce cas-là, vous devrez les refaire ou relire cette leçon !

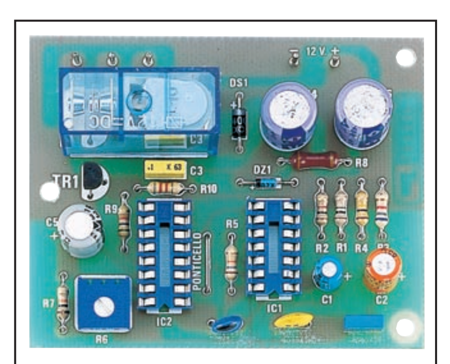


Figure 167 : Si vous insérez tous les composants sur le circuit imprimé comme nous vous l'avons conseillé dans cette leçon, votre circuit ressemblera à un circuit professionnel.

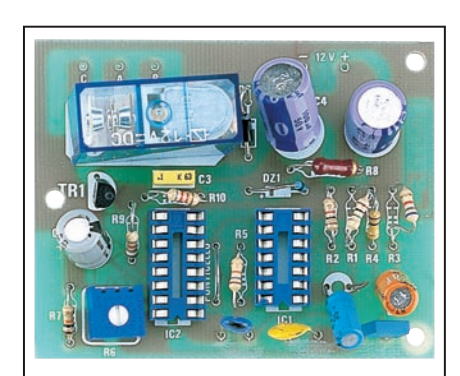


Figure 168 : Un circuit dont les composants sont aussi mal disposés pourra également fonctionner mais sera bien moins présentable que celui de la figure 167.

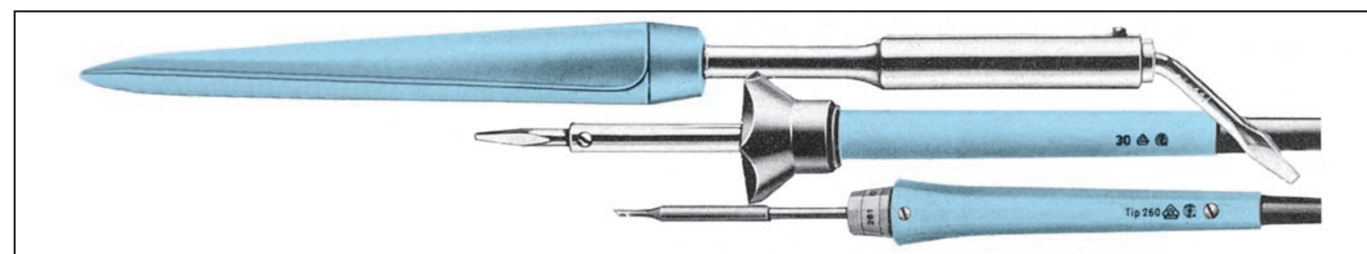


Figure 169 : En haut, un fer à souder à alimenter avec une tension secteur 220 volts et, en bas, deux fers à souder basse tension (entre 20 et 28 volts) à relier à un transformateur spécial.

replier les broches d'un composant sur le circuit imprimé, mais plutôt de les écarter légèrement, afin d'en faciliter le dessoudage sans endommager le circuit imprimé.

On trouve, dans le commerce, des pompes à dessouder (voir figure 170), capables de retirer avec une extrême facilité et en totalité, l'étain fondu.

Leur utilisation est très simple. Après avoir poussé à fond le piston de la pompe, placez son embout en téflon sur la soudure fondue puis appuyez sur le bouton de verrouillage. Le piston, en reprenant sa position initiale grâce à un ressort de rappel, aspire toute la soudure fondue. Appuyez à nouveau sur le piston de la pompe pour chasser la soudure absorbée. Ne laissez pas une pompe à dessouder en charge, c'est-à-dire le piston vers le bas prêt à absorber la soudure. Cette position fatigue le ressort de rappel, ce qui, avec le temps, rend la pompe moins efficace. De temps à autre, démontez et nettoyez la pompe des résidus de soudure. Graissez le joint de piston à la graisse silicone. Attention lors de l'utilisation de la pompe à dessouder, si le circuit imprimé est fragile et si vous appuyez la pompe trop fort dessus, le choc provoqué par le piston reprenant sa position initiale peut faire déraper l'embout et décoller la piste de son support. Pour les petits travaux de dessoudage, préférez la tresse à dessouder, toujours bien propre et coupée en biseau au fur et à mesure de l'opération de dessoudage.

Il existe des accessoires qui, placés sur le fer à souder à la place de la panne d'origine, permettent de dessouder en même temps toutes les broches des supports d'un circuit intégré. Certains fers professionnels peuvent recevoir un kit « fer à dessouder ». Il existe également des fers à dessouder spécialement étudiés pour cet usage. Nous vous déconseillons l'utilisation de tels appareils réservés aux professionnels et demandant une certaine expérience pour ne détruire ni les composants ni le circuit imprimé.

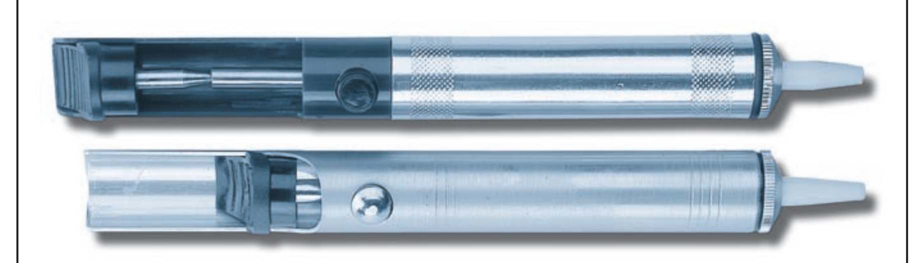


Figure 170 : La pompe à dessouder est une petite pompe pourvue d'un piston qui sert à aspirer l'étain fondu quand on actionne le bouton de verrouillage du ressort de rappel.

Il est préférable d'opter, du moins pour vos débuts, pour la tresse ou pour les pompes à dessouder car elles retirent du circuit imprimé tout l'étain fondu de chaque soudure.

Ce qu'il ne faut pas faire

Si quelqu'un, par le passé, vous a conseillé, pour réaliser le montage d'un circuit électronique, de fondre d'abord la soudure sur la panne du fer à souder pour la déposer ensuite sur l'endroit à souder, oubliez-le !

En faisant fondre la soudure sur la panne du fer à souder, le désoxydant contenu au centre de celle-ci se brûle, et vous soudez alors une patte de composant avec de la soudure inerte, dépourvue de désoxydant, en laissant par conséquent sur la broche une couche d'oxyde. Etant donné que l'oxyde est une pellicule isolante, vous n'obtiendrez jamais un contact électrique parfait entre les surfaces que vous avez assemblées. La présence de cette couche d'oxyde provoque un fonctionnement instable du circuit, peut entraîner des parasites et même, parfois griller un composant.

Une autre erreur à ne pas commettre, est de souder et dessouder un composant sur un circuit alimenté, car il est très facile de provoquer le court-circuit d'une piste sous tension avec la panne du fer à souder.

Pour finir, avant d'alimenter un montage, nettoyez parfaitement votre plan de travail pour le débarrasser de toutes les chutes de pattes de composants, car elles pourraient provoquer un court-circuit entre les pistes du circuit imprimé. Personnellement, nous plaçons toujours notre montage en essai sur un petit plateau en plastique (pour l'isolation). Un morceau de contre-plaqué de faible épaisseur ferait parfaitement l'affaire.

7° exercice

Pour vous entraînez à souder, prenez une pile de 4,5 volts, même déchargée, et essayez de souder sur l'une de ses lamelles de laiton, un morceau de fil de cuivre ou bien la patte d'une résistance.

Si vous rencontrez des difficultés pour déposer de la soudure sur la lamelle de laiton de la pile, essayez d'opérer la même soudure sur l'autre broche, en procédant comme suit :

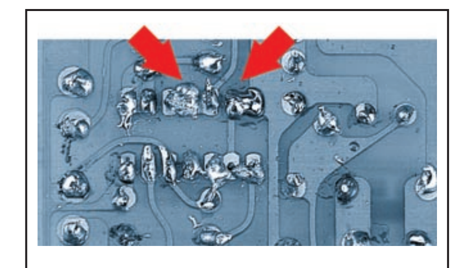


Figure 171 : Après avoir soudé toutes les broches du support sur les pistes du circuit imprimé, nous vous conseillons de contrôler chaque soudure à la loupe car il peut arriver qu'une grosse goutte d'étain court-circuite deux pistes voisines.

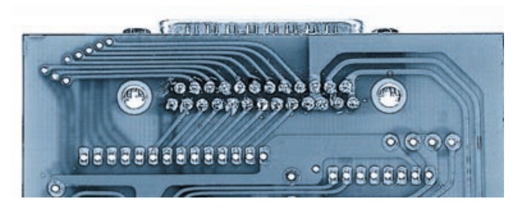


Figure 172 : Pour souder des broches très rapprochées, comme celles d'un connecteur, il est préférable de tenir le fer à souder en position presque verticale et de fondre peu d'étain pour éviter des courts-circuits.

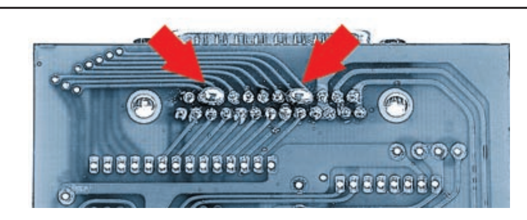


Figure 173 : Il est très facile, en faisant fondre sur une broche un excès d'étain, de relier entre elles deux broches voisines. Pour souder les broches d'un connecteur, il est préférable d'utiliser des pannes très fines.

Appuyez la panne du fer à souder, bien propre et sans soudure, sur la lamelle de laiton et laissez-la quelques secondes.

Sans retirer la panne, appliquez sur le point à souder la soudure et faites-en fondre 2 ou 3 millimètres.

Maintenez la panne du fer à souder en place jusqu'à ce que la soudure se répande comme une tache d'huile sur la surface à souder.

Préparez ensuite l'opération de soudage en appliquant la panne du fer à souder sur la patte de la résistance et en y faisant fondre une goutte de soudure. Maintenez le fer à souder immobile jusqu'à ce que la soudure se dépose uniformément sur toute la partie de la patte devant être soudée.

Appliquez la patte ainsi préparée sur la lamelle de laiton de la pile, puis appliquez le fer à souder en le maintenant immobile jusqu'à ce que la soudure soit fondue. Une fois retirée la panne, attendez que la soudure refroidisse.

Si, au lieu de souder une patte de résistance vous souhaitez souder un fil de cuivre émaillé, vous devez commencer par gratter son extrémité en utilisant la lime à ongles de façon à en retirer la couche isolante. Après avoir mis le fil de cuivre à nu, préparez-le en maintenant la panne immobile jusqu'à ce que la soudure se dépose uniformément sur la surface propre. Soudez-le alors à la lamelle en laiton de la pile.

Nous vous invitons à vous entraîner en répétant cet exercice. Par exemple, prenez deux clous et essayez de souder leurs têtes, après en avoir fixé un sur une plaquette de bois et en appuyant l'autre dessous à l'aide d'une pince.

Puis, soudez-les et, une fois la soudure refroidie, essayez de les séparer.

Si vous y parvenez, contrôlez que la soudure est bien distribuée sur toute la surface des deux têtes. Si l'étain se trouve seulement sur les bords, cela signifie que votre soudure est de mauvaise qualité.

Pour obtenir une parfaite soudure, il est préférable de préparer séparément les têtes en déposant sur chacune d'elles un peu d'étain. Donc, en langage électronique, il est préférable d'étamer séparément les deux têtes.

Maintenez la panne immobile sur la tête jusqu'à ce que l'étain se soit répandu de façon uniforme sur toute sa surface.

Répétez cette même opération sur l'autre tête de clou, puis appuyez-les l'une sur l'autre en appliquant la panne afin de faire fondre la soudure présente entre les deux. Ajouter un peu de soudure.

Un autre exercice utile : souder ensemble deux fils de cuivre émaillé sur une longueur d'environ 1 centimètre. Pour obtenir une soudure parfaite, vous devez d'abord gratter les deux extrémités avec la lime à ongles, de façon à retirer la couche isolante. Ensuite préparez séparément les deux fils et soudez leurs surfaces étamées en faisant fondre 2 ou 3 mm d'étain et en maintenant la panne pendant 4 à 5 secondes, temps nécessaire pour permettre à l'étain de se répandre uniformément sur et entre les deux parties étamées.

Derniers conseils

La soudure est une opération bien plus compliquée qu'on ne le pense généralement. De la qualité des soudures dépend la qualité d'un montage. De belles soudures bien nettes, brillantes, petites et propres assureront un fonctionnement sans problème dans le temps. Des « bouses » mal chauffées, ternes et en peau d'orange provoqueront des soudures « sèches », des effets capacitifs indésirables, des « ponts » involontaires et tout un tas de maux dont l'électronicien se passerait bien.

Un bon fer à souder, même simple et à quatre sous, suffira s'il est adapté au type de soudures à réaliser. Si vous utilisez un fer 100 W avec une panne de 5 mm de large pour souder les pattes d'un circuit intégré, il ne faudra pas vous étonner de voir les pistes se décoller du support et de constater que le montage ne fonctionne pas parce que ledit circuit intégré est passé de vie à trépas après un mauvais coup de chaleur !

L'inverse est également vrai. Si vous utilisez un fer 15 W pour souder un câble en 16 carré, il ne faudra pas s'étonner si ce qu'il serait impropre d'appeler une soudure ne tient pas !

La qualité du fil de soudure que vous utiliserez, nous l'avons déjà dit mais il n'est pas inutile de le répéter, a une extrême importance. Une bonne soudure est garante d'un travail propre et efficace. Achetez votre soudure dans un magasin spécialisé et nulle part ailleurs. Prenez plusieurs diamètres, par exemple de la 8/10 de mm pour les travaux courants de soudure de petits composants et de la 15 à 20/10 de mm pour souder les plans de masse sur les boîtiers, les gros fils, l'étamage de grosses pièces en métal, etc.

Bien entendu, le fer doit toujours rester adapté à la soudure à réaliser. Un fer de 15-25 W pour les travaux courants et un fer de 40-100 W pour les « gros travaux ».

Où trouver les composants

Les circuits imprimés sérigraphiés et les kits complets des montages proposés dans la précédente leçon ainsi qu'un kit de démarrage soudure sont disponibles. Consultez la liste des kits d'application en fin de livre.

Les dessins des circuits imprimés ayant été fournis, vous pouvez également vous approvisionner chez votre fournisseur habituel de composants.

 ***G. M.***

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Haut-parleurs

Pour transformer les vibrations sonores de tous les signaux basse fréquence compris entre 20 Hz et 20 000 Hz et permettre ainsi à notre système auditif de les entendre, il est nécessaire d'utiliser des composants spécifiques appelés haut-parleurs ou casques.

L'enroulement d'excitation, appelé bobine mobile, présent à l'intérieur des haut-parleurs, a une valeur d'impédance généralement de 8 ou de 4 ohms, tandis que celui présent dans les casques a une valeur d'impédance qui peut être égale, toujours généralement à 32, 300 ou 600 ohms.

Il existe dans le commerce des haut-parleurs universels, capables de reproduire avec une bonne fidélité, la gamme entière des fréquences audio allant de 20 Hz jusqu'à 20 000 Hz.
Il existe également des haut-parleurs construits exclusivement pour la hi-fi, tous capables de reproduire une gamme limitée de fréquences, c'est-à-dire, seulement les fréquences des notes Basses, Moyennes ou Aiguës.

Pour que ces haut-parleurs hi-fi reçoivent la seule gamme de fréquences qu'ils sont capables de reproduire, ils doivent être reliés à l'amplificateur à travers des filtres appelés cross-over. Ceux-ci sont composés d'inductances et de capacités calculées en fonction de la valeur de l'impédance de la bobine mobile qui, comme nous l'avons dit, peut être de 8 ou 4 ohms. Vous trouverez dans cette leçon toutes les formules pour calculer les filtres cross-over ainsi que quelques exemples de calcul pour des filtres à deux ou trois voies.

La fonction opposée à celle des haut-parleurs, c'est-à-dire celle qui permet de transformer toutes les vibrations sonores en tension électrique, s'opère grâce à un autre composant appelé microphone.

Le haut-parleur est un composant électromécanique, utilisé pour transformer les tensions alternatives, comprises entre 20 000 et 20 000 Hz en vibrations acoustiques qui, en se répandant dans l'air, seront ensuite captées par nos oreilles. Ces tensions alternatives pourront être prélevées à la sortie d'un amplificateur ou d'un radiorécepteur par exemple.

Comme vous pouvez le remarquer en observant la coupe de la figure 174, un haut-parleur est composé d'une membrane en forme d'entonnoir, au centre et à l'arrière de laquelle est montée une bobine composée d'un certain nombre de spires.

Cette bobine est libre de bouger à l'intérieur d'un noyau magnétisé. Lorsqu'elle est polarisée par une tension de polarité identique à celle de l'aimant, par exemple Nord-Nord, la membrane est repoussée vers l'extérieur. Au contraire, si elle reçoit une polarisation opposée, par exemple Nord-Sud, la membrane est attirée vers l'intérieur.

Sachant qu'un signal basse fréquence est composé de demi-onde positives

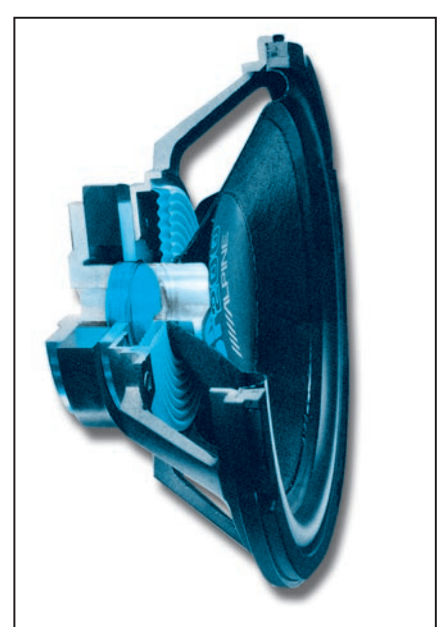
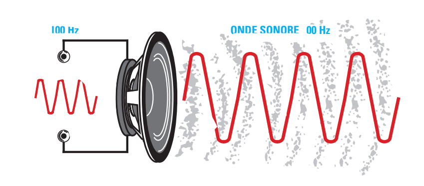


Figure 174 : Une bobine mobile est placée dans un aimant au centre et à l'arrière du cône d'un haut-parleur. En appliquant une tension alternative à cette bobine, on obtient une oscillation du cône de même fréquence.



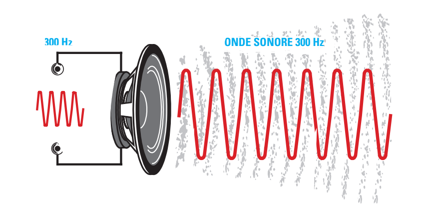


Figure 175 : Si on applique à cette bobine une tension alternative de 100 Hz ou de 300 Hz, la membrane du haut-parleur vibrera à la même fréquence, en produisant une onde sonore qui se répandra dans l'air.

et de demi-onde négatives, lorsque la bobine reçoit ce signal, la membrane commence à osciller avec la même fréquence que la tension qui l'a excitée et produit une onde sonore.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, le mouvement d'oscillation de la membrane ne provoque aucun déplacement d'air, comme le feraient les hélices d'un ventilateur, mais il génère une compression et une décompression des molécules d'air qui, en vibrant, provoquent un son (voir figure 175).

En effet, comme chacun sait, le combiné du téléphone appuyé sur l'oreille n'émet aucun déplacement d'air mais seulement des vibrations qui excitent les molécules d'air, perçues comme un son par notre oreille.

Pour constater le déplacement de la membrane d'un haut-parleur lorsqu'on applique une tension aux pôles de la bobine, reliez une pile de 4,5 volts aux deux broches présentes sur la face arrière du haut-parleur.

Si vous reliez cette pile aux broches du haut-parleur en respectant sa polarité (voir figure 176), la membrane se déplacera vers l'extérieur. Si vous invertissez la polarité de la pile (voir figure 177), vous pourrez remarquer que la membrane se déplace vers l'intérieur.

Plus le diamètre du haut-parleur est important, plus l'oscillation de sa membrane est grande.

On trouve dans le commerce beaucoup de types de haut-parleurs, avec des cônes ronds ou elliptiques et de différents diamètres.

Les haut-parleurs de petit diamètre, capables de débiter des puissances comprises entre 1 et 2 watts, sont généralement utilisés dans les radios portables car leur bobine mobile n'accepte pas de signaux supérieurs à environ 3 volts.



Les haut-parleurs de dimensions légèrement plus grandes, utilisés dans les téléviseurs, les radios normales ou les magnétophones, sont capables de débiter des puissances comprises entre 5 et 10 watts et leur bobine mobile accepte des signaux ayant une amplitude maximale d'environ 8 volts.

Les haut-parleurs utilisés avec les amplificateurs hi-fi débitent des puissances allant jusqu'à 50 ou 80 watts et leur bobine mobile accepte des signaux ayant une amplitude maximale de 25 volts.

Les haut-parleurs utilisés avec les amplificateurs pour discothèque et orchestre, sont capables de débiter des puissances comprises entre 500 et 1 000 watts et leur bobine mobile accepte des signaux ayant une amplitude maximale pouvant atteindre les 90 volts.

Selon leurs dimensions et leurs puissances, les haut-parleurs sont répertoriés en quatre catégories :

Universels - On appelle ainsi tous les haut-parleurs capables de reproduire une large gamme de fréquences acoustiques allant de 70 ou 80 Hz minimum et pouvant atteindre 10 000 ou 12 000 Hz maximum. Ces haut-parleurs réussissant à reproduire, avec une bonne fidélité, toutes les fréquences (basses, médiums et aiguës), sont généralement utilisés pour les récepteurs, les téléviseurs, les magnétophones, etc.

Woofer - On appelle ainsi les haut-parleurs pourvus d'un cône de grandes dimensions et qui peuvent vibrer avec plus de facilité sur les fréquences des notes les plus basses. En effet, les Woofer reproduisent fidèlement toutes les fréquences acoustiques basses, en partant de 25 ou 30 Hz, jusqu'à un maximum de 2 500 ou 3 000 Hz. Les Woofers ne parvenant pas à reproduire les fréquences moyennes et aiguës, sont assemblés sur les enceintes hi-fi avec deux autres types de haut-parleurs appelés médium et tweeter.

Médium - Ce sont des haut-parleurs qui ont un cône de dimensions très inférieures à celles du Woofer, c'est pourquoi ils peuvent vibrer avec plus de facilité sur les fréquences acoustiques moyennes, en partant de 300 ou 500 Hz, jusqu'à atteindre un maximum de 10 000 ou 12 000 Hz.

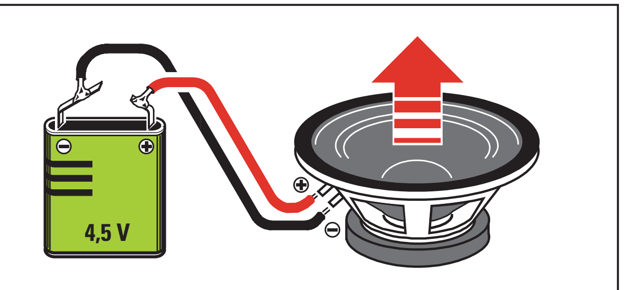


Figure 176 : Si vous voulez voir comment la membrane d'un haut-parleur se déplace, procurez-vous une pile de 4,5 volts et reliez-la à ses broches. Si vous respectez bien leurs polarités, le cône se déplacera vers l'extérieur.

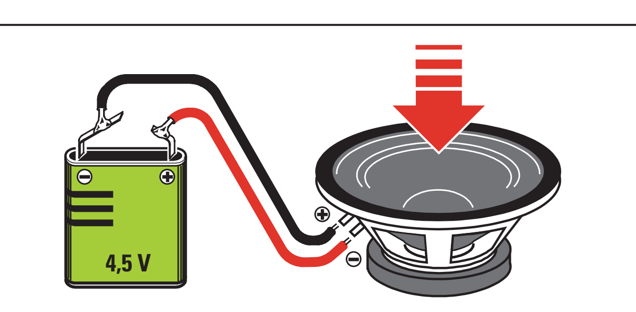


Figure 177 : Si vous inversez la polarité de la pile, vous remarquerez que la membrane se déplace vers l'intérieur. Si vous appliquez un signal de BF sur la bobine, le cône commencera à vibrer en créant des ondes sonores.



Figure 178 : A l'intérieur des enceintes acoustiques des amplificateurs hi-fi sont installés deux ou trois haut-parleurs de différents diamètres. Celui dont le diamètre est le plus important est appelé "woofer". Il est utilisé pour reproduire les notes basses. Celui dont le diamètre est intermédiaire est appelé "médium". Il est utilisé pour reproduire les notes moyennes, tandis que celui dont le diamètre est le plus petit est appelé "tweeter" et sert à reproduire les notes aiguës.

Tweeter - Ces haut-parleurs ont un cône très rigide et des dimensions très réduites, c'est pourquoi ils peuvent vibrer avec plus de facilité sur les fréquences aiguës, en partant de 1 500 ou 2 000 Hz, jusqu'à un maximum de 20 000 ou 25 000 Hz.

Toutes les bobines mobiles de ces haut-parleurs ont une impédance caractéristique de 8 ou 4 ohms, toujours indiquée sur le corps du haut-parleur.

Si la sortie d'un amplificateur ou d'une radio nécessite un haut-parleur ayant une impédance de 8 ohms, nous ne pourrons pas lui en relier un de 4 ohms car une impédance inférieure à celle prévue obligerait l'étage amplificateur final à débiter un courant plus important qui pourrait l'endommager. En effet, pour un amplificateur de 20 watts prévu pour un haut-parleur de 8 ohms, l'étage amplificateur devra débiter un courant facilement calculable grâce à cette formule :

$$\text{ampère} = \sqrt{\text{watt : ohm}}$$

Ce transistor débitera donc un courant maximal de :

$$\sqrt{20 : 8} = 1,58 \text{ ampère}$$

Si on connecte un haut-parleur d'une impédance de 4 ohms sur la sortie de cet amplificateur, l'étage amplificateur final devra débiter un courant de :

$$\sqrt{20 : 4} = 2,23 \text{ ampères}$$

On peut relier un haut-parleur de 8 ohms à la sortie d'un amplificateur de 20 watts prévu pour un haut-parleur de 4 ohms, mais on obtiendra alors une puissance réduite de moitié.

Pour vérifier l'exactitude de notre affirmation, calculons la tension maximale débitée par cet amplificateur de 20 watts avec une charge de 4 ohms, en utilisant la formule suivante :

$$\text{volt} = \sqrt{\text{watt x ohm}}$$

L'amplificateur débite donc une tension de :

$$\sqrt{20 \text{ x } 4} = 8,94 \text{ volts}$$

Si nous appliquons cette valeur de tension à un haut-parleur de 8 ohms, nous obtiendrons une puissance que nous pourrons calculer en utilisant la formule suivante :

$$\text{watt} = (\text{volt x volt}) : \text{ohm}$$

Nous obtiendrons alors une puissance de seulement :

$$(8,94 \text{ x } 8,94) : 8 = 9,99 \text{ watts}$$

On ne peut pas mesurer la valeur d'impédance de la bobine d'un haut-parleur avec un multimètre réglé sur la position "ohm", car on ne mesurerait que la résistance ohmique du fil utilisé pour

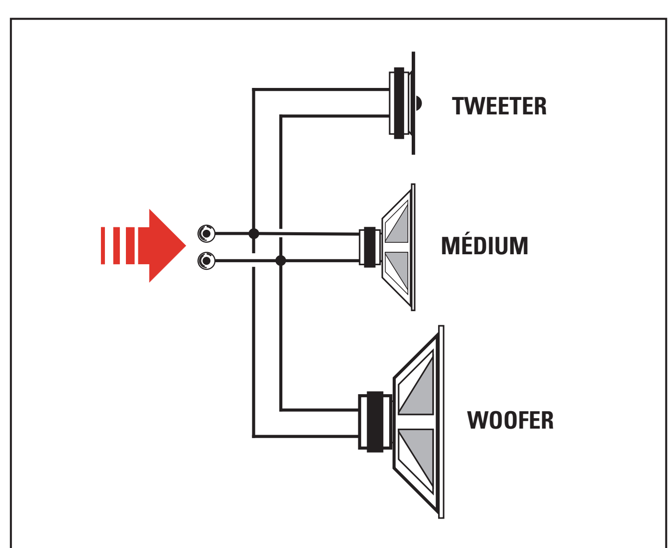


Figure 179 : Si on relie en parallèle et directement trois haut-parleurs, on obtient une valeur d'impédance inférieure à celle de la sortie de l'amplificateur. Dans ces conditions, on risque d'endommager ce dernier et de "griller" le haut-parleur tweeter car il reçoit des fréquences qu'il n'est pas capable de reproduire.

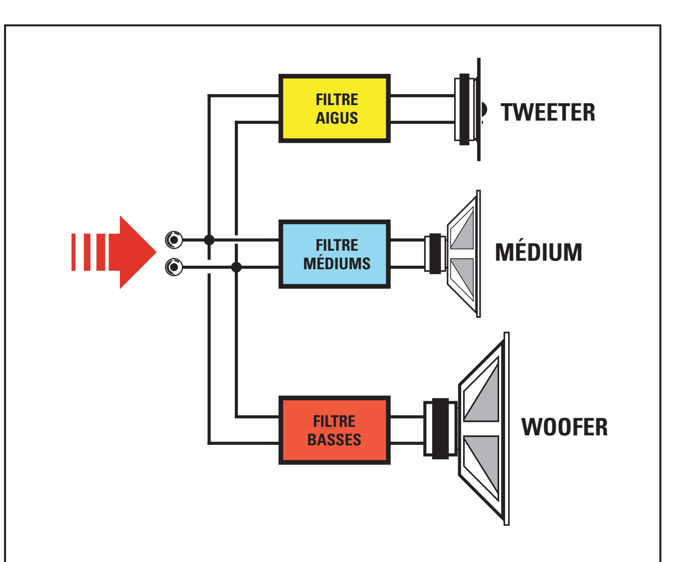


Figure 180 : En reliant, sur les trois haut-parleurs, un filtre cross-over, nous pouvons diriger sur chacun d'entre eux la gamme de fréquence qu'il est capable de reproduire et nous permettrons, en outre, à l'amplificateur de trouver l'impédance exacte de chaque haut-parleur.

FORMULES pour CROSS OVER à 2 VOIES

L1 (millihenry)	= (79,60 x ohm) : Hz
L2 (millihenry)	= (255 x ohm) : Hz
L3 (millihenry)	= 0,625 x valeur de L2
C1 (microfarad)	= 99 500 : (ohm x Hz)
C2 (microfarad)	= 1,6 x valeur de C1
C3 (microfarad)	= 3,2 x valeur de C1



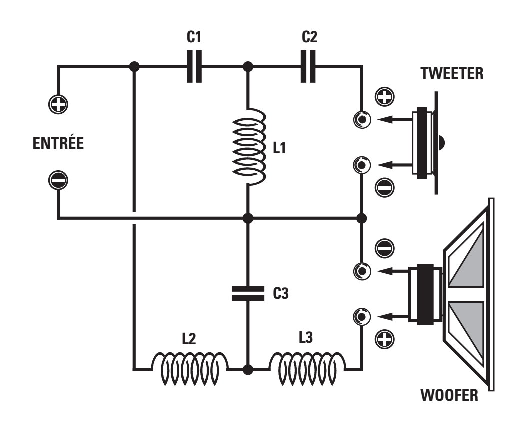




Figure 181 : Schéma électrique d'un filtre cross-over, 2 voies à 18 dB par octave et les formules utilisées pour calculer les valeurs des inductances et des capacités. Vous devrez remplacer "ohm" par l'impédance des haut-parleurs, c'est-à-dire 4 ou 8 ohms et "Hz" par la valeur de la fréquence de séparation qui est égale à 2 000 Hz.

la construction de la bobine et non son impédance.

Pour mesurer la valeur d'une impédance, il faut un instrument appelé impédancemètre.

Filtres cross-over

Lorsque les trois haut-parleurs, woofer, médium et tweeter se trouvent rassemblés à l'intérieur d'un caisson acoustique (enceinte), on ne peut pas les relier en parallèle comme sur la figure 179, car chacun d'eux recevrait des fréquences qu'ils ne seraient pas capables de reproduire parfaitement et, mis à part le fait qu'on obtiendrait des sons distordus, on risquerait de les endommager.

En effet, la membrane du woofer ne réussissant pas à osciller sur les fréquences moyennes et sur les aiguës, elle nous fournirait des sons de mauvaise qualité. La membrane du médium ne risquerait rien, si ce n'est de nous fournir un son incomplet dû à son incapacité d'osciller sur les basses fréquences. La membrane du tweeter, de dimensions beaucoup plus réduites, risquerait d'être mise hors service par les fréquences moyennes et les basses.

Pour éviter d'endommager les haut-parleurs et pour obtenir une reproduction hi-fi fidèle, il est nécessaire de diviser toute la gamme du spectre acoustique avec un filtre appelé cross-over, composé d'inductances et de capacités, permettant d'envoyer aux deux ou trois haut-parleurs les fréquences qu'ils sont capables de reproduire uniquement.

On peut comparer le filtre cross-over à un dispositif routier servant à dévier les camions (les fréquences basses) dans une direction, dans une autre, les voitures (les moyennes fréquences) et dans une autre encore, les deux-roues (les fréquences aiguës).

Pour les basses fréquences, le filtre cross-over est un passe-bas qui sert à dévier vers le haut-parleur woofer toute la bande de fréquences comprises entre 25 et 500 Hz, en bloquant toutes les fréquences supérieures.

Pour les moyennes fréquences, le filtre cross-over est un passe-bande servant à dévier vers le haut-parleur médium toute la bande de fréquences comprises entre 500 et 4 000 Hz, en bloquant toutes les fréquences inférieures et supérieures.

Pour les fréquences aiguës, le filtre cross-over est un passe-haut servant à dévier vers le haut-parleur tweeter toute la bande des fréquences supérieures à 4 000 Hz, en bloquant toutes les fréquences inférieures. On utilise en général le tweeter pour les fréquences comprises entre 4 000 et 25 000 Hz.

Dans une enceinte acoustique n'ayant que deux haut-parleurs, c'est-à-dire un woofer et un médium, le filtre cross-over est calculé de façon à envoyer toutes les fréquences comprises entre 25 et 2 000 Hz vers le woofer, et toutes les fréquences supérieures à 2 000 Hz, vers le médium.

Même si on trouve dans le commerce des cross-over prêts à être installés dans une enceinte acoustique, ces filtres peuvent être facilement réalisés. Il suffit pour cela de se procurer les inductances et les capacités nécessaires.

Nous reportons sur la figure 181 le schéma d'un filtre à 2 voies et les formules permettant de calculer les valeurs des inductances en millihenry et celles des capacités en microfarads.

Exemple : Calculez les valeurs des inductances et des capacités à utiliser pour un filtre cross-over à 2 voies (voir figure 181), en disposant de haut-parleurs d'une impédance de 8 ohms.

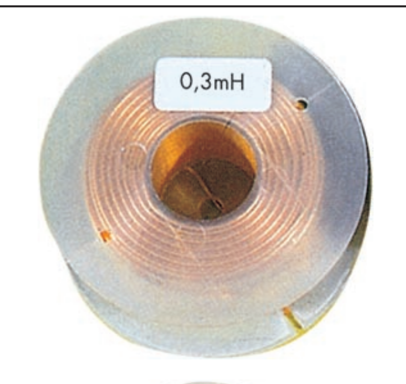
Solution : En utilisant les formules du tableau, on obtiendra :

L1 = (79,60 x 8) : 2 000
= 0,3184 millihenry

L2 = (255 x 8) : 2 000
= 1,02 millihenry

L3 = 0,625 x 1,02
= 0,6375 millihenry





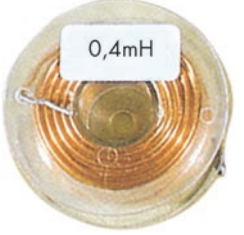


Figure 182 : On obtient les inductances à utiliser pour les filtres cross-over en bobinant sur un support en plastique, un certain nombre de spires de fils de cuivre émaillé d'un diamètre suffisant pour qu'elles ne chauffent pas. Plus vous enroulerez de spires sur le support, plus la valeur en millihenry de la bobine augmentera.

C1 = 99 500 : (8 x 2 000)
= 6,218 microfarads

C2 = 1,6 x 6,218
= 9,948 microfarads

C3 = 3,2 x 6,218
= 19,897 microfarads

Signalons toutefois qu'une différence sur la valeur demandée de 3 % en plus ou en moins, ne modifiera en rien les caractéristiques du filtre, et que par conséquent :

- pour L1, on pourra utiliser une impédance d'une valeur comprise entre 0,3 et 0,33 millihenry ;

- pour L2, on pourra utiliser une impédance d'une valeur comprise entre 0,99 et 1 millihenry ;

- pour L3, on pourra utiliser une impédance d'une valeur comprise entre 0,60 et 0,65 millihenry ;

- pour C1, on pourra utiliser une capacité d'une valeur comprise entre 5,9 et 6,5 microfarads ;

- pour C2, on pourra utiliser une capacité comprise entre 9,6 et 10,2 microfarads ;

- pour C3, on pourra utiliser une capacité comprise entre 19,3 et 20,5 microfarads.

Nous reportons sur la figure 184, le schéma d'un filtre à 3 voies et les formules permettant de calculer les valeurs des inductances en millihenry et celles des capacités en microfarads.

Exemple : Calculez les valeurs des inductances et des capacités à utiliser pour un filtre cross-over à 3 voies (voir figure 184), en disposant de haut-parleurs d'une impédance de 8 ohms.



Figure 183 : Photo d'une enceinte dans laquelle sont installés deux haut-parleurs, un tweeter et un woofer.

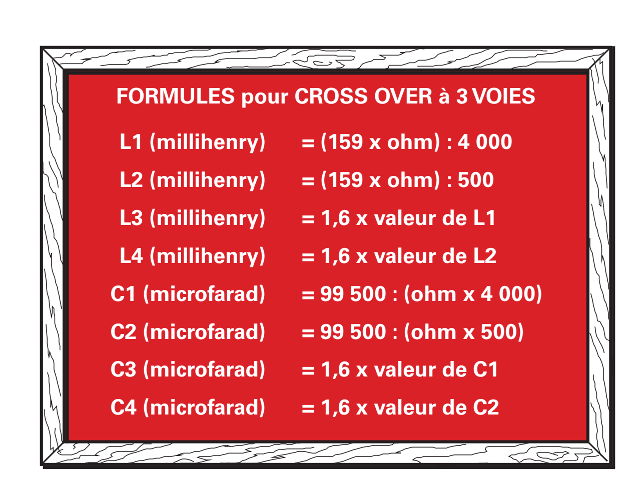
Solution : En utilisant les formules du tableau, on obtiendra :

L1 = (159 x 8) : 4 000
= 0,318 millihenry

L2 = (159 x 8) : 500
= 2,54 millihenrys

L3 = 1,6 x 0,318
= 0,5 millihenry

L4 = 1,6 x 2,54
= 4 millihenrys



FORMULES pour CROSS OVER à 3 VOIES

L1 (millihenry)	= (159 x ohm) : 4 000
L2 (millihenry)	= (159 x ohm) : 500
L3 (millihenry)	= 1,6 x valeur de L1
L4 (millihenry)	= 1,6 x valeur de L2
C1 (microfarad)	= 99 500 : (ohm x 4 000)
C2 (microfarad)	= 99 500 : (ohm x 500)
C3 (microfarad)	= 1,6 x valeur de C1
C4 (microfarad)	= 1,6 x valeur de C2

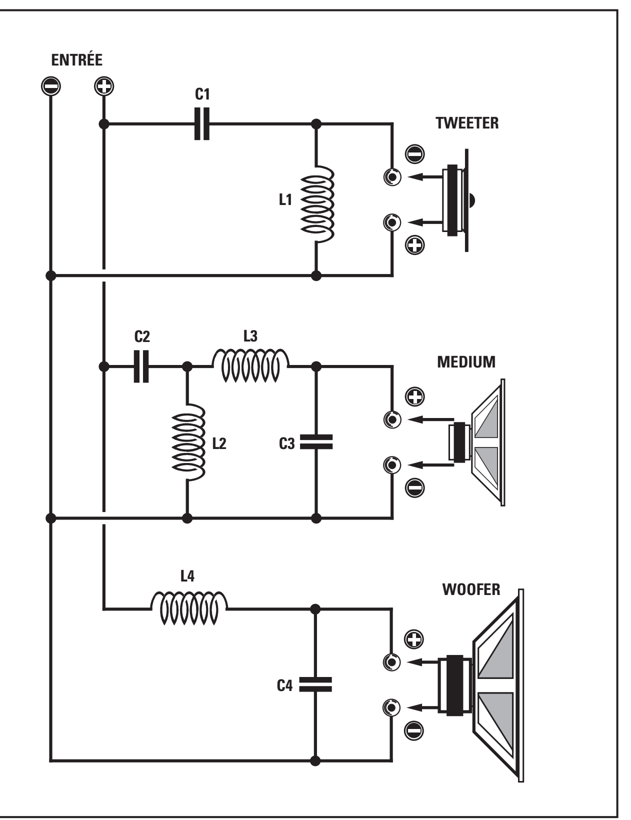


Figure 184 : Schéma électrique d'un filtre cross-over, 3 voies à 12 dB par octave et les formules utilisées pour calculer les valeurs des inductances et des capacités. Vous devrez remplacer "ohm" par l'impédance des haut-parleurs, c'est-à-dire 4 ou 8 ohms.

C1 = 99 500 : (8 x 4 000)
= 3,10 microfarads

C2 = 99 500 : (8 x 500)
= 24,8 microfarads

C3 = 1,6 x 3,10
= 4,96 microfarads

C4 = 1,6 x 24,8
= 39,68 microfarads

Il nous sera également possible d'utiliser avec ces composants des inductances et des capacités ayant une différence sur la valeur demandée de 3 % en plus ou en moins.

En ce qui concerne les capacités, nous vous conseillons de toujours utiliser des condensateurs polyester car les condensateurs électrolytiques sont non seulement polarisés mais ils ont des tolérances pouvant atteindre 40 %.

Etant donné que vous trouverez difficilement des condensateurs polyester ayant des valeurs de capacité aussi élevées, vous devrez en relier deux ou plusieurs en parallèle, de façon à obtenir la valeur demandée (reportez-vous à la leçon numéro 3 pour les groupements de condensateurs).

Pour les inductances, vous devrez utiliser des bobines entourées de fil de cuivre d'un diamètre d'au moins 1 mm, pour pouvoir laisser passer le courant nécessaire sans surchauffe.

Note : Les inductances à utiliser pour les filtres cross-over sont toujours bobinées sur des supports dépourvus de noyau en fer (voir figure 182).

Casques et auriculaires

Les casques ne sont rien d'autre que de minuscules haut-parleurs s'appliquant sur les oreilles pour écouter de façon individuelle le son d'une radio, d'un magnétophone ou d'un amplificateur sans déranger l'entourage.

La puissance maximale pouvant être appliquée sur un casque s'élève à environ 0,2 watt, c'est pourquoi on ne pourra donc jamais le relier directement à la sortie des amplificateurs de puissance auxquels sont habituellement connectés les haut-parleurs. On trouve sur tous les amplificateurs une prise spécialement conçue pour pouvoir relier n'importe quel type de casque.

Il existe des casques hi-fi capables de reproduire toute la gamme acoustique, en partant d'un minimum de 25 ou 30 Hz pour arriver à un maximum de 18 000 ou 20 000 Hz, et d'autres, beaucoup plus économiques, capables de reproduire une gamme acoustique plus réduite, allant normalement de 40 ou 50 Hz pour arriver à un maximum de 10 000 à 12 000 Hz.

On trouve également dans le commerce de minuscules auriculaires piézo-électriques et magnétiques, qui s'introduisent directement dans l'oreille.

Figure 185 : Les casques sont de minuscules haut-parleurs qui se mettent sur les oreilles pour écouter individuellement de la musique. Les casques ont, généralement, une impédance de 32 ou bien de 600 ohms.



Figure 186 : Un microphone fait l'inverse de ce que fait un haut-parleur, c'est-à-dire qu'il capte les vibrations acoustiques et les convertit en une tension alternative de fréquence égale à celle des notes acoustiques captées. Etant donné que la valeur de la tension alternative fournie sur la sortie d'un microphone est toujours très faible, il faut nécessairement la préamplifier. La sortie du microphone est toujours reliée à l'entrée du préamplificateur par un câble blindé pour éviter de capter des signaux parasites ou des bruits dus au courant.

Microphones

Les microphones (voir figure 187), sont des composants capables de capter toutes les vibrations sonores produites par un bruit, une voix ou un instrument musical et de les convertir en une tension électrique qui devra ensuite être amplifiée de façon appropriée.
En fait, ils font exactement le contraire d'un haut-parleur qui, lui, convertit en vibrations sonores les tensions alternatives fournies par un amplificateur.

Tous les microphones, comme tous les haut-parleurs, sont pourvus d'une membrane qui, frappée par un son, vibre en produisant ainsi une tension alternative de quelques millivolts dont la fréquence est parfaitement identique à celle de la source sonore.

Si on fait vibrer la corde d'une guitare capable d'émettre une note acoustique sur la fréquence de 440 Hz, cette onde sonore fera vibrer la membrane du microphone sur cette même fréquence et on pourra alors prélever sur sa sortie, une tension alternative d'une fréquence de 440 Hz.

Si on fait vibrer la corde d'un violon capable d'émettre une note acoustique de 2 630 Hz, cette onde sonore fera vibrer la membrane du microphone sur cette même fréquence et on pourra alors prélever sur sa sortie une tension alternative d'une fréquence de 2 630 Hz.

Les microphones le plus souvent utilisés sont :

- A charbon – Ils sont ainsi appelés car leur membrane repose sur des grains de charbon, conducteurs d'électricité (voir figure 188). Quand la membrane commence à vibrer, elle comprime

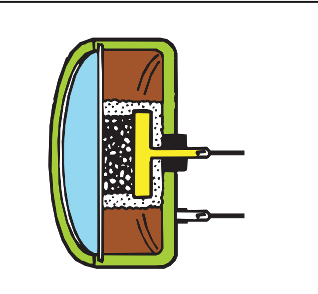


Figure 188 : Dans les microphones dits à charbon, la membrane, en vibrant, appuie sur les grains de charbon en modifiant ainsi sa propre résistance interne.

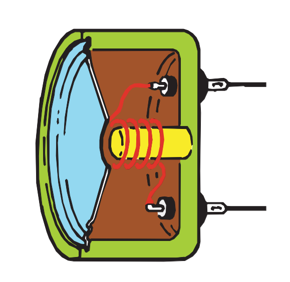


Figure 189 : Les microphones dits magnétiques sont de petits haut-parleurs. Leur membrane génère, en vibrant, une faible tension alternative.



Figure 187 : Différents types de microphones employés par les orchestres et par les chanteurs. Les plus utilisés sont ceux de type électromagnétique et piézo-électrique.

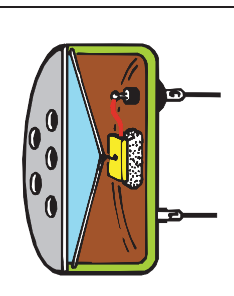


Figure 190 : Dans les microphones dits piézo-électriques, la membrane comprime un petit cristal de quartz et cette pression est convertie en tension.

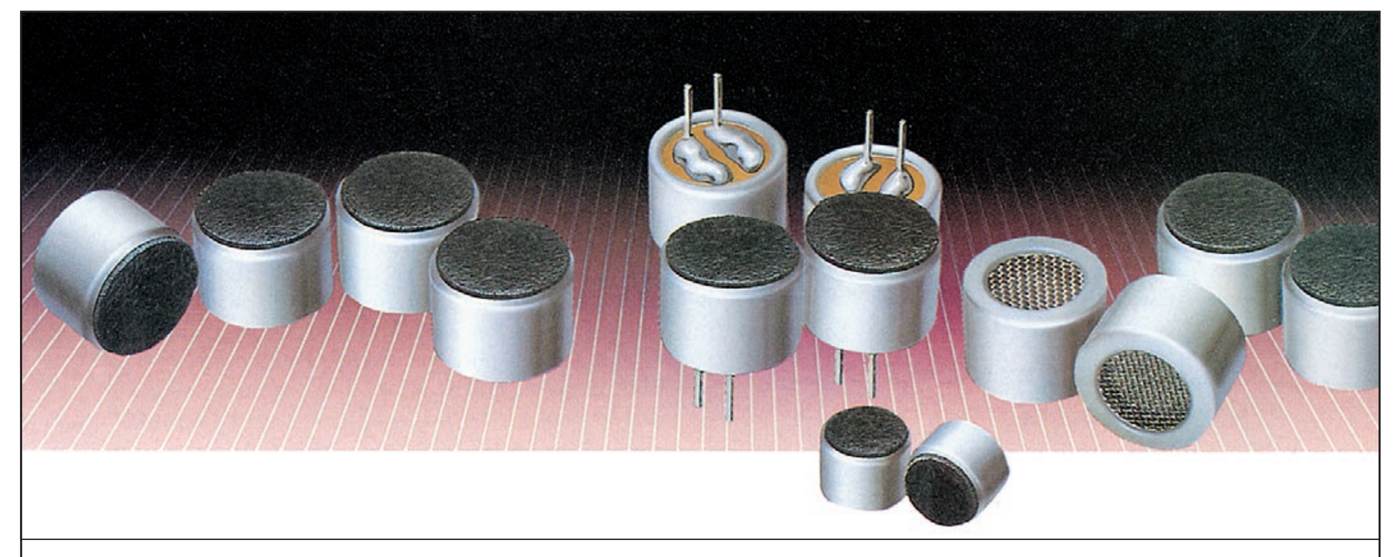


Figure 191 : Sur cette photo nous vous présentons les minuscules capsules piézo-électriques, équipées d'un étage préamplificateur qui est alimenté à travers leurs broches.

plus ou moins ces grains de charbon, modifiant ainsi sa résistance ohmique et par conséquent, le courant qui passe dans les grains de charbon. Ces microphones sont encore aujourd'hui utilisés en téléphonie et dans certains appareils militaires.

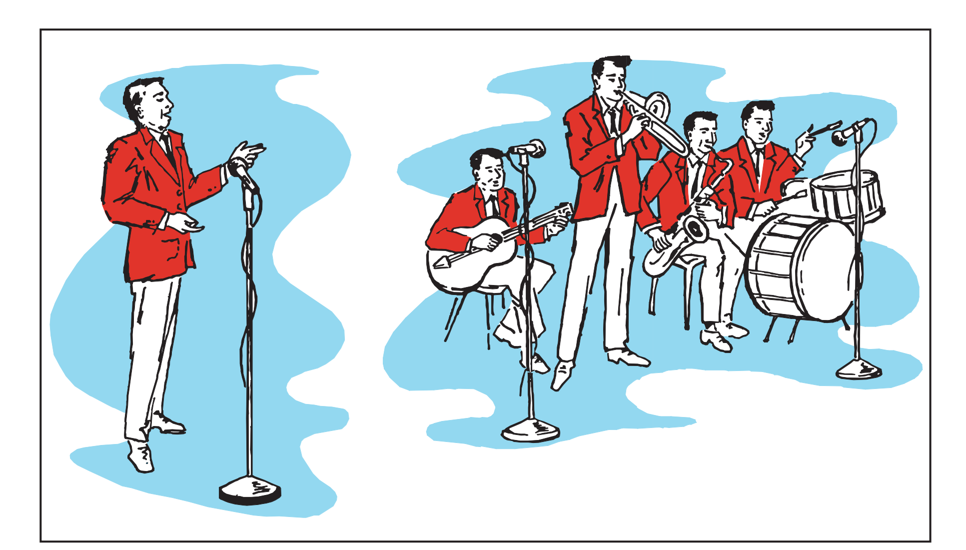
- **Electromagnétiques** – Ils sont ainsi appelés car sur leur membrane est entourée une bobine qui bouge au-dessus d'un aimant, de la même façon que sur un quelconque haut-parleur (voir figure 189). Quand cette membrane commence à vibrer, une faible tension se crée aux bornes de la bobine qu'il faut ensuite amplifier de façon appropriée. Même un simple haut-parleur peut être utilisé comme un microphone. En effet, si on parle devant son cône de papier, celui-ci vibrera et on pourra alors prélever sur ses bornes, une tension alternative de quelques millivolts.

- **Piézo-électriques** – Ils sont ainsi appelés car leur membrane s'appuie sur un cristal piézo-électrique (voir figure 190). Lorsque la membrane commence à vibrer, elle comprime plus ou moins ce cristal et, grâce au phénomène de la piézo-électricité, on obtient à sa sortie une tension alternative de plusieurs millivolts. Un microphone piézo-électrique fonctionne de la même façon que le pick-up d'un tourne-disque. Dans ces pick-up, le cristal piézo-électrique est compressé et décompressé mécaniquement par l'aiguille qui défile sur les sillons du disque.

Fréquences acoustiques et notes musicales

Tous les êtres humains perçoivent le son émis par la voix d'un chanteur, par un instrument musical ou bien par un haut-parleur grâce à l'oreille, mais, vous êtes vous déjà demandé comment ces sons se répandent dans l'air ?

Si vous observez un haut-parleur pendant l'émission d'un son, vous verrez que son cône vibre très vite sans provoquer aucun mouvement d'air.



Cette vibration fait à son tour vibrer automatiquement les molécules d'air provoquant ainsi des ondes sonores qui, en atteignant notre oreille, font vibrer la petite membrane placée à l'intérieur.

Le nerf acoustique relié à cette membrane les transforme en impulsions électriques et les envoie au cerveau. On peut donc comparer notre oreille à un microphone qui transforme tous les sons qu'il réussit à capter en une tension électrique.

Pour essayer d'expliquer comment sont générées ces ondes sonores, qui bien qu'elles se répandent dans l'air, ne créent aucun courant électrique, nous pouvons comparer ce phénomène à celui du caillou que l'on jette dans un étang.

On voit se former des vaguelettes concentriques à l'endroit où tombe le caillou (voir figure 192). Ces vaguelettes se propagent vers l'extérieur à une certaine vitesse, sans provoquer de courants.

En effet, si on pose un bouchon de liège sur la surface de l'étang, on le verra seulement se soulever et s'abaisser, mais pas se déplacer du centre vers l'extérieur.

Si les vibrations émises par le cône d'un haut-parleur sont comprises entre 16 et 100 Hz (de 16 à 100 oscillations par seconde), on entendra un son d'une tonalité très basse ; si au contraire elles sont comprises entre 5 000 et 10 000 Hz (de 5 000 à 10 000

NOTE FRANCE	USA	Fondamentale	1re octave	2e octave	3e octave	4e octave	5e octave	6e octave	7e octave	8e octave
DO	C	32,69	65,38	130,76	261,52	523,04	1 046,08	2 092,16	4 184,32	8 368,64
DO#	C#	34,62	69,24	138,48	276,92	553,84	1 107,68	2 215,36	4 430,72	8 861,44
RÉ	D	36,68	73,36	146,72	293,44	586,88	1173,76	2 347,52	4 695,04	9 390,08
RÉ#	D#	38,84	77,68	155,36	310,72	621,44	1 242,88	2 485,76	4 971,52	9 943,04
MI	E	41,20	82,40	164,80	329,60	659,20	1 318,40	2 636,80	5 273,60	10 547,20
FA	F	43,64	87,28	174,56	349,12	698,24	1 396,48	2 792,96	5 585,92	11 171,84
FA#	F#	46,21	92,42	184,84	369,68	739,36	1 478,72	2 957,44	5 914,88	11 829,76
SOL	G	48,98	97,96	97,96	391,84	783,68	1 567,36	3 134,72	6 269,44	12 538,88
SOL#	G#	51,87	103,74	207,48	414,96	829,92	1 659,84	3 319,68	6 639,36	13 278,72
LA	A	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1 760,00	3 520,00	7 040,00	14 080,00
LA#	A#	58,24	116,48	232,96	465,92	931,84	1 863,68	3 727,36	7 454,72	14 909,44
SI	B	61,73	123,46	246,92	493,84	987,68	1 975,36	3 950,72	7 901,44	15 802,88

Tableau 15 : Nous reportons sur ce tableau toutes les fréquences fondamentales des notes musicales et leurs octaves supérieures. Comme vous pouvez le remarquer, chaque octave supérieure a une fréquence double par rapport à l'octave inférieure. Si on prend la fréquence fondamentale de la note "LA", qui est de 55 Hz, on remarquera que pour chaque octave, sa fréquence double : 110 - 220 - 440 - 880 Hz, etc.

oscillations par seconde), on entendra un son d'une tonalité très aiguë.

Si on frappe deux barres métalliques dont la longueur est différente, elles vibreront en produisant des sons différents car proportionnels à leur longueur.

Si on prend deux barres métalliques dont la longueur est identique et qu'on les place l'une à côté de l'autre, le son généré par le fait d'en faire vibrer une fera aussitôt vibrer l'autre car, cette seconde barre étant de même longueur que la première, résonnera.



Figure 192 : Pour comprendre comment une onde sonore se forme, essayez de jeter un caillou dans un étang. Vous verrez se former des cercles (ondes) concentriques qui se propageront du centre vers l'extérieur, sans créer de courants mais seulement des ondulations. En effet, si l'on pose sur l'étang un bouchon de liège, on le verra seulement descendre et remonter, sans jamais se déplacer vraiment. Les ondes sonores font osciller les molécules d'air sans remuer l'air, au contraire des hélices d'un ventilateur qui génèrent du vent mais pas de son.

Ce phénomène est utilisé pour accorder sur la même fréquence les cordes de deux guitares différentes, de deux pianos ou de deux harpes, etc. Pour accorder les instruments musicaux, on utilise un morceau de fer en forme de U appelé diapason et qui émet, lorsqu'il vibre, une "fréquence échantillon" de 440 Hz correspondant à la note "LA" de la troisième octave (voir le tableau 15).

Si on place un second diapason, accordé sur la même fréquence, près de celui qui est déjà en vibration, il commencera à vibrer lui aussi, excité par les ondes sonores générées par le premier (voir figure 193).

La vitesse à laquelle les ondes acoustiques se propagent dans l'air est de 340 mètres par seconde, par conséquent, beaucoup plus lente que la vitesse de la lumière qui atteint 300 000 kilomètres par seconde !

Cette différence de vitesse se remarque facilement lors des tempêtes. En effet, nous voyons immédiatement la lumière de l'éclair de la foudre, mais le son du tonnerre ne parvient à notre oreille qu'après plusieurs secondes.

La vitesse à laquelle se propage le son dépend du conducteur, comme vous pouvez le remarquer :

air	340 mètres par seconde
eau	1 480 mètres par seconde
terre	3 000 mètres par seconde
acier	5 050 mètres par seconde

Pour calculer, en mètres, la longueur d'onde d'un son qui se répand dans l'air à une température de 20 degrés

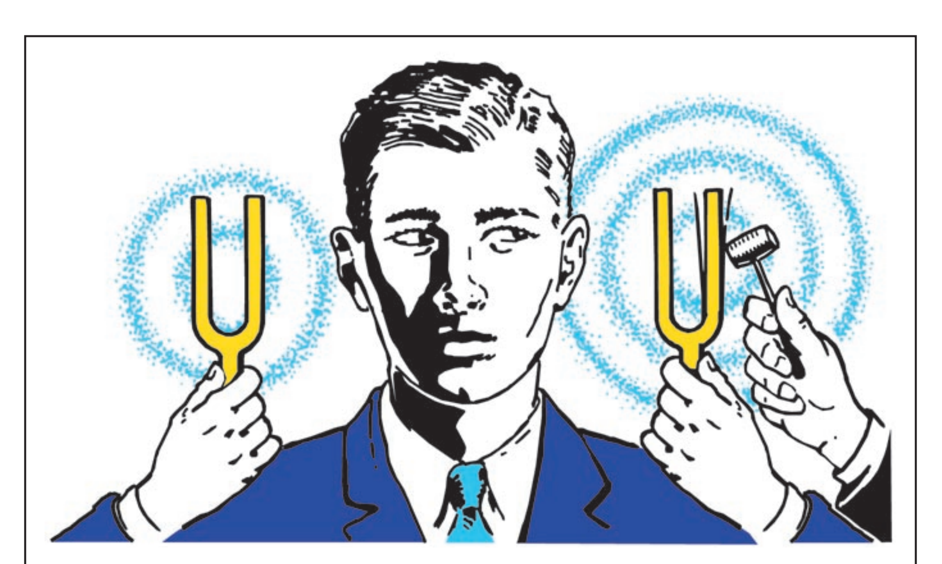


Figure 193 : En faisant vibrer un diapason avec un petit marteau, il émettra des ondes sonores qui parviendront à faire vibrer un autre diapason, pourvu qu'il soit proche et accordé sur la même fréquence.

centigrade, on peut utiliser cette formule :

mètres = 340 : hertz

Un son bas ayant une fréquence de 100 Hz a une longueur d'onde dans l'air égale à :

340 : 100 = 3,4 mètres

Un son aigu ayant une fréquence de 6 000 Hz, a une longueur d'onde dans l'air égale à :

340 : 6 000 = 0,0566 mètre, c'est-à-dire 5,66 centimètres.

L'oreille humaine réussit à percevoir une large gamme de fréquences acoustiques qui partent normalement d'un minimum de 20 Hz pour arriver à un maximum de 17 000, voire 20 000 Hz.

Cette limite maximum dépend beaucoup de l'âge. Une personne très jeune réussit à entendre toute la gamme jusqu'à 20 000 Hz, et même au-delà.

Figure 194 : Nous avons reporté sur ce tableau, toutes les fréquences minimales et maximales pouvant être générées par les différents instruments musicaux et les voix humaines. Dans la fréquence fondamentale sont incluses les fréquences des notes basses et, dans la 6e octave, les fréquences des notes des aiguës.



Après 30 ans, une personne ne peut plus percevoir les fréquences supérieures à 15 000 ou 16 000 Hz, et après 40 ans, elle ne réussit plus à percevoir toutes les fréquences supérieures à 10 000 ou 12 000 Hz.

Dans les pays de langue latine, et donc par conséquent en France, on appelle les 7 notes musicales :

DO - RÉ - MI - FA - SOL - LA - SI

Dans le tableau 15, nous avons reporté la fréquence fondamentale de chaque note et, dans les colonnes qui suivent, les octaves supérieures. Comme vous pouvez le remarquer, la fréquence de chaque octave supérieure correspond à un redoublement de la fréquence de l'octave inférieure, et donc, il suffit pour la connaître de multiplier la fréquence fondamentale par :

2 - 4 - 8 - 16 - 32 - 64 - 128 - 256

Par exemple, la fréquence fondamentale de la note "LA" est de 55 Hz, la fréquence du "LA" de la 1re octave est de 55 x 2 = 110 Hz, la fréquence du "LA" de la 2e octave est de 55 x 4 = 220 Hz, la fréquence du "LA" de la 3e octave, également appelée "octave centrale", est de 55 x 8 = 440 Hz et ainsi de suite.

La fréquence de DO# - RÉ# - FA# - SOL# - LA# a une valeur intermédiaire entre la note inférieure et la note supérieure.

Note : le symbole graphique # s'appelle "dièse".

Vous trouverez, dans le tableau de la figure 194, les fréquences minimales et maximales divisées par octaves pouvant être générées par les différents instruments musicaux et les voix humaines.

Ultrasons

On appelle ultrasons tous les sons ayant une fréquence supérieure à celle pouvant normalement être perçue par l'être humain, c'est-à-dire tous les sons supérieurs à environ 25 000 Hz.

Beaucoup d'animaux réussissent à entendre ces fréquences que nous n'entendons pas.

A titre d'exemple, les chats perçoivent des fréquences allant jusqu'à environ 40 000 hertz, les chiens jusqu'à 80 000 hertz et les chauves-souris jusqu'à environ 120 000 hertz.

Signalons, sans pour autant rentrer dans les détails, que l'on trouve dans le commerce des capsules émettrices et réceptrices capables d'émettre et de capter ces fréquences ultrasoniques.

Etant donné que ces fréquences ultrasoniques ont quasiment les mêmes propriétés que celles des rayons lumineux, elles peuvent être concentrées dans des faisceaux bien définis. Si elles rencontrent un obstacle, elles sont immédiatement réfléchies, comme cela arrive à n'importe quel rayon lumineux rencontrant un miroir.

C'est pour cette caractéristique qu'elles sont utilisées dans des antivols et des échosondeurs qui, comme vous le savez certainement, servent en navigation pour mesurer les profondeurs marines et pour localiser les obstacles, comme par exemple des rochers, des sous-marins ennemis ainsi que pour repérer des bancs de poissons. L'échosondeur envoie une impulsion d'ultrasons dans une direction précise et, pour connaître la distance d'un obstacle, on évalue le temps mis par cette impulsion pour revenir à sa source.

Il est facile d'évaluer la distance de l'obstacle, sachant que la vitesse de transmission des ultrasons dans l'eau est d'environ 1 480 mètres par seconde.

Les ultrasons sont également utilisés dans le domaine industriel pour contrôler les matériaux métalliques afin de repérer d'éventuels défauts internes et pour émulsionner des liquides, des crèmes et des vernis. Ils sont également utilisés dans le domaine médical pour les échographies ou pour les thérapies ultrasoniques. En fait, les ultrasons génèrent de la chaleur en traversant les tissus visqueux et sont donc très efficaces pour traiter des arthrites rhumatismales, des névrites, des sciatiques, etc.



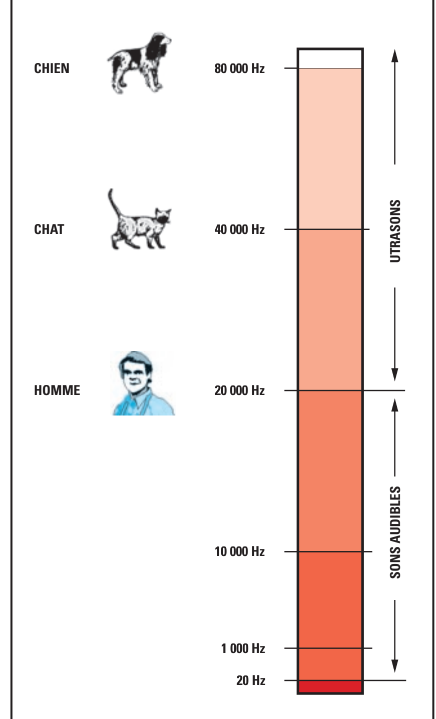


Figure 195 : Tous les sons de fréquence supérieure à 20 000 Hz, qui ne sont pas audibles par un être humain, rentrent dans la gamme des fréquences "ultrasoniques". Les ultrasons sont utilisés dans le domaine médical pour effectuer des échographies ainsi que pour soigner des rhumatismes, sciatiques, etc.

Pour conclure, nous pouvons affirmer que les ultrasons sont des sons particuliers qui, bien utilisés, peuvent aussi servir à guérir.

◆ **G. M.**

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

8° EXERCICE : Alimentation universelle type LX.5004

Au lieu d'alimenter vos circuits électroniques avec des piles qui se déchargent très vite et finissent par coûter cher, nous vous suggérons de réaliser une petite alimentation dont le rôle sera de réduire la tension alternative du secteur 220 volts, disponible sur n'importe quelle prise de courant, à des valeurs de tension de 5, 6, 9, 12 et 15 volts. Cette même alimentation devra pouvoir transformer la tension alternative en tension continue, c'est-à-dire pouvoir fournir à sa sortie une tension identique à celle que fournirait une pile.

Dans cette leçon, nous vous expliquerons comment monter une alimentation capable de fournir des tensions continues stabilisées de 5, 6, 9, 12 et 15 volts ainsi que deux autres tensions, alternatives cette fois, de 12 et 24 volts, qui vous serviront pour alimenter de nombreux circuits électroniques parmi ceux que nous vous présenterons dans la revue.

Etant donné que nous vous avons déjà appris, dans la leçon numéro 5, comment procéder pour obtenir des soudures parfaites, nous pouvons vous assurer qu'une fois le montage de votre alimentation terminé, elle fonctionnera tout de suite correctement. Dans le cas contraire, si vous avez commis une erreur, nous vous aiderons à résoudre votre panne.

Si vous soudez de façon soignée tous les composants, vous vous apercevrez que vous pouvez faire fonctionner n'importe quel appareil électronique, même ceux qui, au départ, vous semblaient très complexes.

Une fois notre alimentation réalisée, nous aborderons les électro-aimants.

Si vous suivez attentivement toutes nos instructions, nous pouvons vous assurer que, une fois le montage terminé et même si beaucoup des composants utilisés vous sont encore étrangers, l'alimentation fonctionnera immédiatement et à la perfection.

Cette alimentation vous sera très utile car la plupart des circuits que nous vous présentons dans la revue ont besoin de tensions très stables dont les valeurs sont souvent différentes de celles pouvant être débitées par une pile (par exemple 5 ou 15 volts).

Bien qu'une alimentation universelle coûte plus cher qu'une pile normale, vous devez considérer qu'elle est capable de fournir différentes tensions continues et alternatives avec une puissance qu'une pile conventionnelle ne pourra jamais fournir. Ne parlons même pas de sa durée de vie pratiquement illimitée si elle est utilisée dans des conditions normales ni qu'elle vous fournira tension et courant sans jamais se décharger !

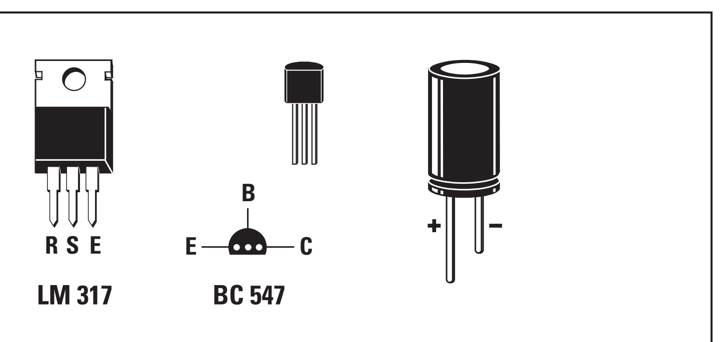


Figure 196 : Nous avons représenté sur cette figure les connexions, vues du dessous, des broches du circuit intégré LM317 et du transistor BC547. Si vous ne trouvez pas indiqué sur les condensateurs électrolytiques la patte du "positif", souvenez-vous qu'elle est toujours légèrement plus longue que la patte du "négatif".

Notre alimentation est capable de fournir toutes les tensions suivantes :

2 tensions alternatives de 12 et 24 volts, avec un courant maximum de 1 ampère.

5 tensions continues stabilisées de 5, 6, 9, 12 et 15 volts, avec un courant maximum de 1 ampère.

1 tension continue non stabilisée de 20 volts, avec un courant maximum de 1 ampère.

Monter cette alimentation sera également un très bon exercice pour

apprendre à lire un schéma électrique. Dans le même temps, vous pourrez voir comment sont disposés, en pratique, tous les composants grâce à la seule lecture du plan d'implantation de la figure 198.

Le schéma électrique

Nous commençons la description du schéma électrique (voir figure 197) par la prise secteur 220 volts.

Avant que le "secteur" n'atteigne l'enroulement primaire du transformateur T1, il passe à travers l'interrupteur S1, qui nous permet d'allumer et d'éteindre notre alimentation.

On trouve, sur le transformateur T1, deux enroulements secondaires, l'un capable de fournir 17 volts alternatifs sous 1 ampère et l'autre, capable de fournir 0, 12 et 24 volts alternatifs également sous 1 ampère.



Nous vous conseillons de réaliser cette alimentation car vous pourrez y prélever toutes les tensions nécessaires pour alimenter les différents projets que nous vous présenterons dans ce cours d'électronique.

La tension alternative de 17 volts est appliquée sur l'entrée du pont redresseur RS1, qui la transforme en tension continue.

Le condensateur électrolytique (chimique) C1, placé sur la sortie du pont RS1, nous permet de rendre la tension redressée parfaitement continue.

Cette tension est ensuite appliquée sur l'entrée d'un circuit intégré stabilisateur de type LM317, représenté sur le schéma électrique par un rectangle noir nommé IC1.

Comme vous pouvez l'observer sur la figure 196, ce circuit intégré dispose de trois broches, désignées par les lettres R, S et E.

E – c'est la broche d'Entrée sur laquelle est appliquée la tension continue que nous voulons stabiliser.

S – c'est la broche de Sortie sur laquelle nous prélevons la tension continue stabilisée.

R – c'est la broche de Réglage qui détermine la valeur de la tension à stabiliser. Pour obtenir une tension stabilisée de 5, 6, 9, 12 ou 15 volts sur la sortie, nous devons appliquer sur la broche R une tension que nous déterminons grâce au commutateur rotatif S2.

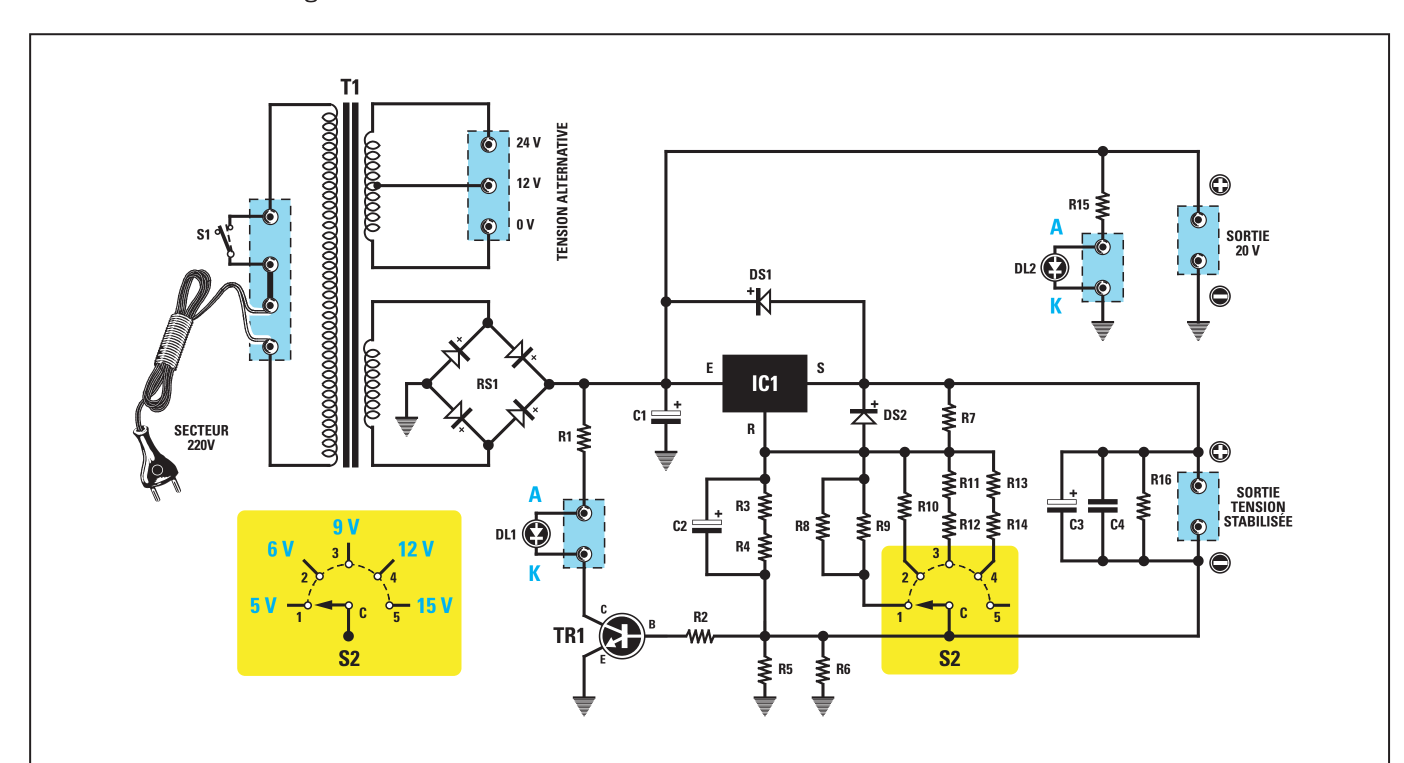
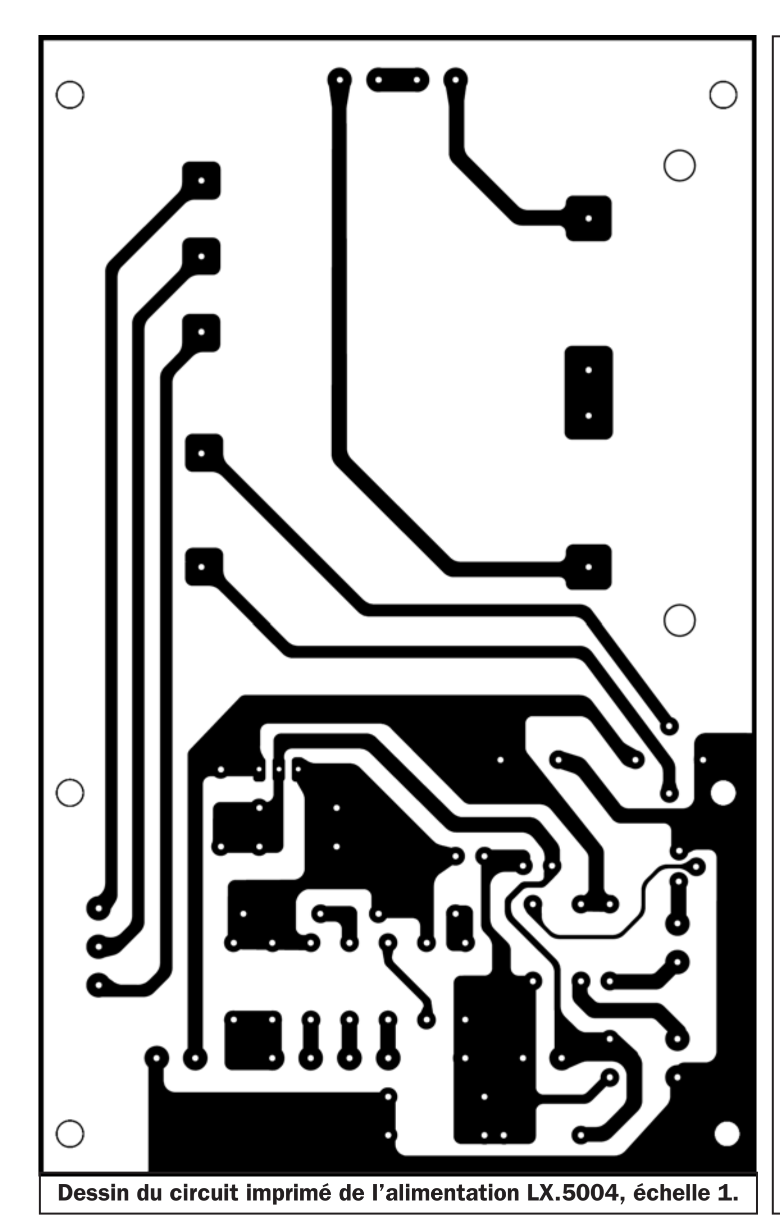


Figure 197 : Schéma électrique de l'alimentation. Dans l'encadré jaune, en bas à gauche, vous remarquerez les positions sur lesquelles vous devrez placer le commutateur S2 pour obtenir les différentes tensions en sortie.




Dessin du circuit imprimé de l'alimentation LX.5004, échelle 1.

Liste des composants de l'alimentation LX.5004

R1	:	1,2 kΩ
R2	:	1 kΩ
R3	:	1,2 kΩ
R4	:	1,2 kΩ
R5	:	1,2 Ω 1/2 W
R6	:	1,2 Ω 1/2 W
R7	:	220 Ω
R8	:	1,8 kΩ
R9	:	1,8 kΩ
R10	:	1,2 kΩ
R11	:	2,2 kΩ
R12	:	1,2 kΩ
R13	:	8,2 kΩ
R14	:	470 Ω
R15	:	1,2 kΩ
R16	:	10 kΩ
C1	:	2 200 μF électrolytique 50 V
C2	:	10 μF électrolytique 50 V
C3	:	220 μF électrolytique 25 V
C4	:	100 nF polyester
DS1	:	Diode 1N4007
DS2	:	Diode 1N4007
DL1	:	Diode LED rouge
DL2	:	Diode LED verte
RS1	:	Pont redresseur 200 V / 1,5 A
TR1	:	transistor NPN type BC547
S1	:	Interrupteur
S2	:	Commutateur 1 circuit / 5 positions
IC1	:	Régulateur intégré LM317
T1	:	Transformateur 40 W (T040.02)
		Sec. 0 – 12 – 24 V 1 A + 17 V 1 A

La tension stabilisée que nous appliquons sur les bornes de sortie de l'alimentation, est filtrée par les condensateurs C3 et C4, qui éliminent le moindre résidu de tension alternative.

La tension redressée par le pont RS1, alimente la broche E du circuit intégré IC1 et rejoint directement les bornes indiquées "SORTIE 20 V", desquelles nous pouvons prélever cette valeur de tension non stabilisée.

La diode LED DL2 reliée sur la tension de 20 volts, indique l'état de l'alimentation : allumée ou éteinte.

Dans cette alimentation nous avons prévu plusieurs sécurités :

- une première pour les courts-circuits,
- une seconde pour les surcharges et, enfin,
- une troisième pour les inversions de courant.

Ces sécurités sont destinées à éviter la destruction du circuit intégré IC1 en cas de court-circuit involontaire entre les deux fils de sortie de la tension stabilisée, ou bien, en cas de prélèvement de courant supérieur à 1 ampère.

Dans ces deux hypothèses, on retrouverait sur les pattes des deux résistances R5 et R6, une tension positive qui ferait brusquement chuter la tension de référence de la broche R et, par conséquent, celle de la broche de sortie S du régulateur.

La tension présente sur les deux résistances R5 et R6 rejoint également, par l'intermédiaire de la résistance R2, la base (B) du transistor TR1 qui, devenant conducteur, commande l'allumage de la diode LED DL1, reliée en série dans son collecteur (C).

Donc, quand la diode DL1 s'allume, cela signifie qu'il y a un court-circuit sur l'appareil que nous alimentons ou bien, que celui-ci consomme un courant supérieur à 1 ampère.

Pour protéger le circuit intégré IC1 lorsqu'on coupe l'alimentation, nous avons relié la diode au silicium DS1 entre les pattes E et S.

En fait, chaque fois que l'on retire le 220 volts du primaire du transformateur T1, la tension sur la broche d'entrée E du circuit régulateur LM317 descend rapidement à 0 volt. Mais n'oublions pas que sur la broche de sortie S de ce même circuit régulateur se trouve le condensateur électrolytique de sortie C3, qui ne parvient pas à se décharger aussi rapidement que celui placé sur l'entrée.

On retrouvera donc sur la broche de sortie S une tension supérieure à celle présente sur la broche E, et cette différence risquerait également d'endommager le circuit intégré IC1.

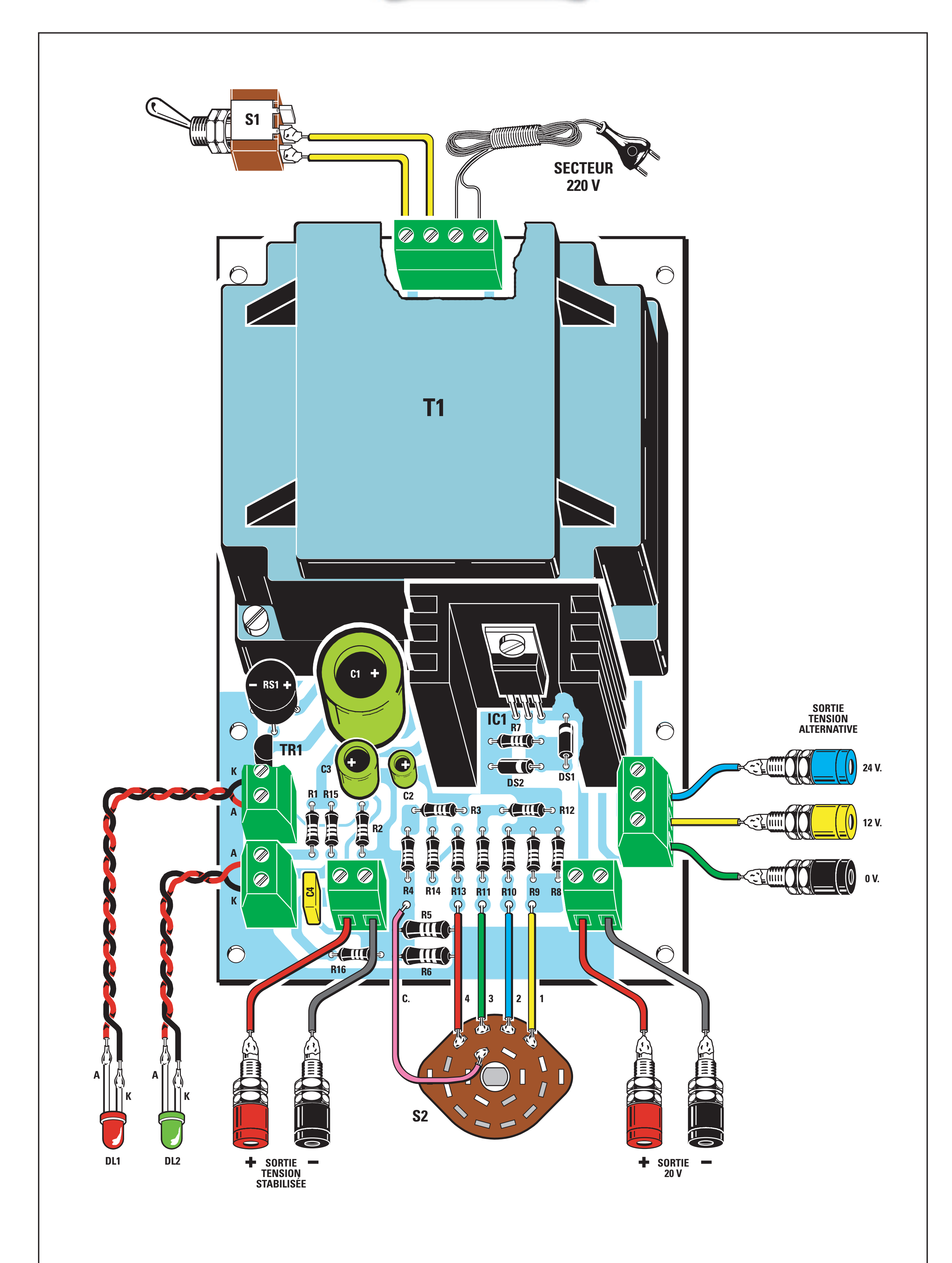


Figure 198 : Plan d’implantation des composants de l’alimentation. Vous devrez mettre en place, sur le circuit imprimé, les composants correspondant à la sérigraphie et ayant les valeurs données dans la liste des composants, sans vous tromper (lire l’article) !

Quand la tension sur le condensateur électrolytique C3 est supérieure à celle présente sur le condensateur électrolytique C1, la diode DS1 s'excite et transfère sa tension sur la broche E. C'est pour cette raison qu'on ne retrouvera jamais sur la broche d'entrée une tension inférieure à celle de la broche de sortie.

La diode DS2, placée entre la broche S et la broche R, sert à décharger rapidement le condensateur électrolytique C2, relié à cette dernière, chaque fois que l'on passe d'une tension supérieure à une tension inférieure, en tournant le commutateur S2.

En admettant que le commutateur S2 soit placé sur la position 12 volts, on obtiendrait alors sur le condensateur électrolytique C2 une tension d'environ 10,75 volts.

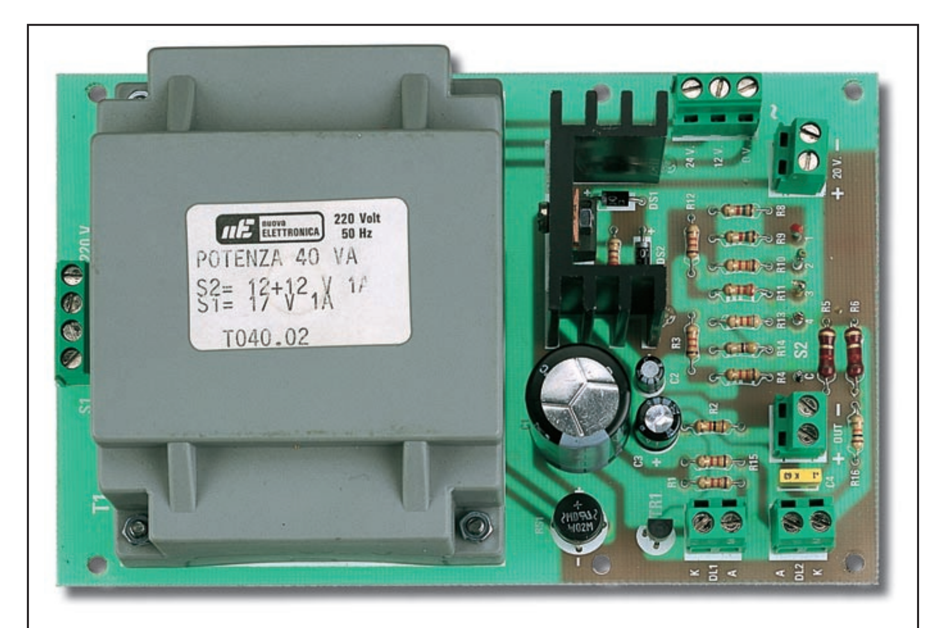


Figure 199 : Après avoir monté tous les composants sur le circuit imprimé et soudé leurs pattes sur les pistes en cuivre en dessous, vous obtiendrez un montage identique à celui de cette photo. Notez bien le radiateur de refroidissement sur lequel est fixé le circuit intégré IC1.

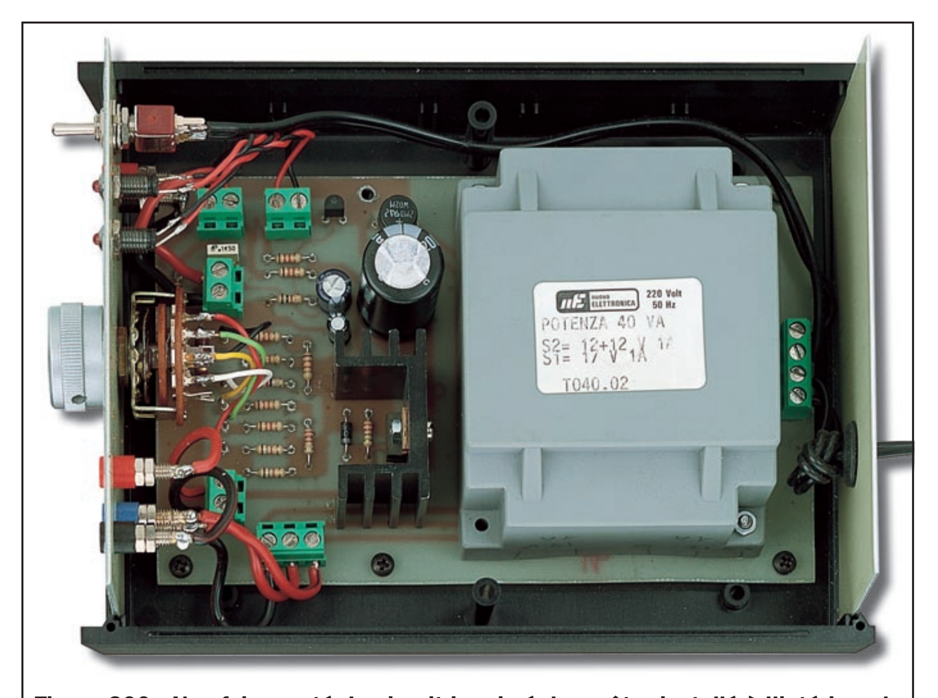


Figure 200 : Une fois monté, le circuit imprimé devra être installé à l'intérieur de son boîtier plastique. Sur la face avant, vous fixerez le commutateur S2 et les douilles bananes de sortie des tensions ainsi que les supports chromés contenant les diodes LED. En ce qui concerne les connexions du commutateur S2, vous pourrez vous référer à la figure 204. Pour fixer les douilles bananes de sortie, référez-vous au dessin de la figure 206.

Si l'on tournait S2 pour obtenir une tension stabilisée de 5 volts en sortie, le condensateur électrolytique C2 continuerait à fournir sur la broche R de IC1, une tension de 10,75 volts, qui serait aussi présente sur les bornes de sortie. On risquerait ainsi d'alimenter un appareil fonctionnant avec une tension stabilisée de 5 volts, avec une tension de 12 volts. Le rôle de la diode DS2 est donc d'assurer la décharge rapide du condensateur électrolytique C2 de façon à ce qu'on ne trouve sur la sortie de l'alimentation que la tension demandée.

Les résistances R8/R9, R10, R11/R12 et R13/R14, reliées au commutateur S2 servent à appliquer sur la broche R du circuit intégré IC1, les valeurs de tension permettant d'obtenir en sortie une tension stabilisée de 5, 6, 9, 12 et 15 volts.

La réalisation pratique

Après cette brève explication du schéma électrique, nous passons à la description de la réalisation pratique de notre alimentation universelle.

Le dessin du plan d'implantation, représenté sur la figure 198, vous aidera à dissiper vos moindres doutes. En effet, on y voit clairement apparaître l'emplacement de chaque composant sur le circuit imprimé (remarquer leurs appellations).

Pour connaître la valeur des résistances et des condensateurs devant être insérés aux emplacements indiqués, reportez-vous à la liste des composants.

Si vous faites l'acquisition du kit LX.5004, vous y trouverez tous les composants nécessaires au montage, le circuit imprimé percé et sérigraphié ainsi qu'un boîtier plastique prêt à recevoir votre réalisation.

Bien qu'il soit possible de commencer le montage par n'importe lequel des composants, nous vous conseillons de commencer par les résistances. Avant de les placer sur le circuit imprimé, vous devez plier leurs broches en "L" de façon à en faciliter l'insertion dans les trous prévus à cet effet.

Prenez ensuite le tableau de décodage des couleurs, que nous avons publié dans la deuxième leçon de ce cours (ELM n° 2, page 82), et commencez à organiser les différentes résistances.

La première résistance à insérer, R1, est de 1 200 ohms et doit avoir sur le corps les couleurs suivantes : marron – rouge – rouge – or.

Après l'avoir repérée, insérez-la sur le circuit imprimé à l'emplacement marqué R1, en l'enfonçant complètement de façon à ce que son corps vienne s'appuyer sur le support. Retournez alors le circuit imprimé et soudez les pattes sur les pistes de cuivre, comme nous vous l'avons enseigné.

Essayez de réaliser des soudures parfaites car une patte mal soudée pourrait empêcher le circuit de fonctionner. Après soudure, coupez l'excédent des pattes à l'aide d'une pince coupante. Une fois la résistance R1 soudée, passez à la résistance R2 de 1 000 ohms, ayant sur le corps les couleurs suivantes : marron – noir – rouge – or.

Cette résistance doit être insérée sur le circuit imprimé à l'emplacement marqué R2.

Après avoir soudé et coupé ses pattes, vous pouvez insérer les résistances R3 et R4 qui, étant toutes les deux de 1 200 ohms, ont sur le corps les mêmes couleurs que R1.

Vous reconnaîtrez immédiatement les résistances R5 et R6 de 1,2 ohm – 1/2 watt car elles ont des dimensions légèrement plus grandes que les autres résistances de 1/4 de watt. Les couleurs apparaissant sur les corps de ces résistances sont : marron – rouge – or – or.

Les deux premières couleurs nous indiquent la valeur 12 tandis que la troisième, indique que cette valeur doit être divisée par 10. Donc la valeur finale de cette lecture sera de 1,2 ohm.

Après avoir inséré les résistances R5 et R6, installez toutes les autres, en contrôlant les couleurs marquées sur leurs corps.

En poursuivant ce montage, prenez les deux diodes au silicium et, après avoir plié leurs pattes en L, insérez-les sur le circuit imprimé dans les trous marqués DS1 et DS2.

Pendant l'installation des diodes, faites très attention à la disposition de la bague colorée, toujours positionnée sur un seul côté du corps. La bague de la diode DS1 doit être dirigée vers le haut, tandis que celle de la diode DS2 doit être dirigée vers la droite, comme indiqué sur le schéma d'implantation de la figure 198.

Une fois les diodes soudées, montez le transistor en l'insérant à l'emplacement marqué TR1. Les pattes de ce transistor ne doivent pas être raccourcies mais directement insérées sur le circuit imprimé de façon à ce qu'il ne dépasse, côté pistes, qu'environ un millimètre. Cette longueur suffira pour pouvoir effectuer la soudure. Avant de souder les pattes du transistor, contrôlez que la partie plate de son corps soit bien dirigée vers le condensateur électrolytique C1 (voir figure 198).

Après le transistor, prenez le circuit intégré LM317 et fixez-le, à l'aide d'une vis et d'un écrou, au radiateur de refroidissement, en dirigeant sa partie métallique vers le radiateur.

Insérez ce circuit intégré en le poussant vers le bas jusqu'à ce que le radiateur touche le circuit imprimé. Ensuite, sur le côté opposé, soudez ses trois pattes sur les pistes en cuivre et coupez l'excédent à l'aide de la pince coupante.

A présent, prenez le pont redresseur et insérez-le dans les quatre trous marqués RS1. Pendant son installation, vérifiez bien le positif et le négatif indiqués sur son corps. Insérez la broche positive dans le trou marqué "+" et la broche négative dans le trou marqué "–".

Poussez le corps du pont dans les trous de façon à le positionner à environ 10 mm du circuit imprimé, puis soudez de l'autre côté ses quatre pattes sur les pistes en cuivre et coupez les parties excédentaires.

Si, en coupant les pattes, vous remarquez une mauvaise tenue du

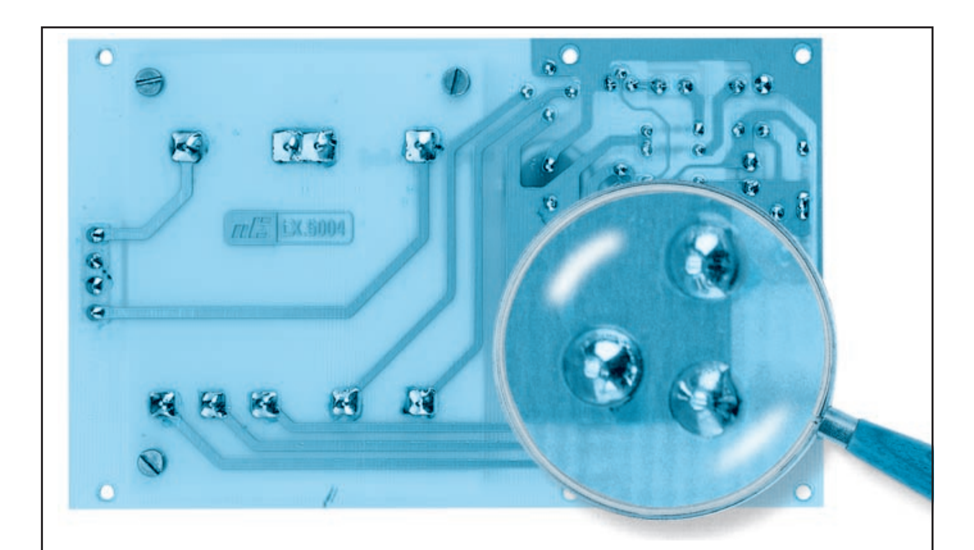


Figure 201 : Sur cette photo vous pouvez voir comment doivent se présenter toutes les soudures sur les pistes en cuivre du circuit imprimé.

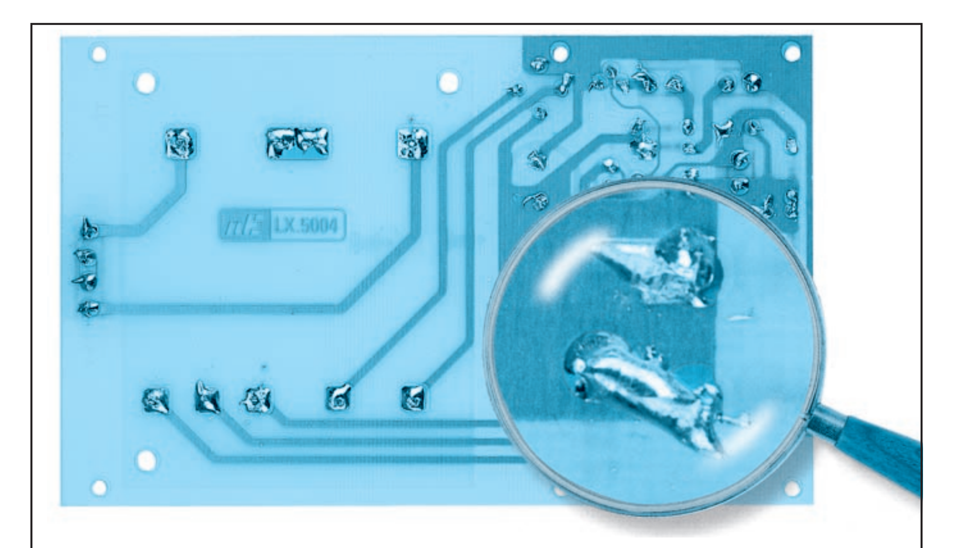


Figure 202 : Le circuit réussira difficilement à fonctionner si les soudures que vous avez réalisées ressemblent à celles-ci. Dans ce cas-là, vous devrez les refaire en suivant les instructions de la leçon numéro 5.

composant, cela signifie que les soudures ont été mal effectuées et qu'il faut donc les refaire. Vous pouvez voir sur la figure 201 un circuit imprimé parfaitement soudé.

Si vos soudures se présentent comme celles de la figure 202, cela signifie que vous ne savez pas encore souder et qu'il faut donc que vous relisiez toute la leçon sur les soudures.

Petite astuce pour souder bien droit certains composants :
Lorsque vous devez souder un transistor, ou un pont redresseur, ou encore un régulateur, etc., soudez d'abord une seule patte, retournez le circuit et vérifiez le résultat, redressez éventuellement le composant et soudez les autres pattes.

Poursuivez le montage en insérant les trois condensateurs électrolytiques C1, C2 et C3, en respectant la polarité de leurs pattes. Les symboles "+/–" ne sont pas toujours portés sur le corps des condensateurs. Souvent, seul le signe "–" y figure. Si vous avez un doute, sachez que la patte la plus longue (voir figure 205) est toujours le positif.

Insérez cette patte dans le trou marqué "+", puis poussez le condensateur jusqu'à ce qu'il touche le support. Du côté des pistes en cuivre, soudez les deux pattes puis coupez l'excédent, toujours à l'aide de la pince coupante.

Après les condensateurs électrolytiques, insérez le condensateur polyester C4. Puisque ses pattes ne sont pas polarisées, vous pouvez le positionner dans n'importe quel sens. Maintenant, insérez et soudez les broches du bornier d'entrée destiné à recevoir la tension secteur 220 volts.

Une fois cette phase terminée, prenez le transformateur T1 et enfilez ses broches dans le circuit imprimé. Celles-ci sont conçues de façon à pouvoir être installées exclusivement dans un sens, c'est-à-dire avec l'enroulement primaire dirigé vers le bornier des 220 volts et les secondaires, vers le radiateur de refroidissement de IC1.

Une fois le transformateur inséré, fixez-le sur le circuit imprimé à l'aide de quatre vis et de quatre écrous, puis, soudez toutes ses broches sur les pistes en cuivre.

Dans les trous marqués 1, 2, 3, 4 et C, soudez des morceaux de fil de cuivre gainés de plastique de 8 cm de long. Ils vous serviront pour relier les broches du commutateur rotatif R2 une fois fixé sur la face avant du boîtier.

Une fois tous les composants montés, le circuit imprimé doit être à son tour fixé à l'intérieur du boîtier plastique à l'aide de quatre vis autotaraudeuses.

Démontez le panneau avant du boîtier, fourni déjà percé et sérigraphié, pour pouvoir y fixer l'interrupteur S1, les supports chromés des diodes LED et le commutateur S2. Avant de fixer S2, sciez son axe à une longueur de 10 mm comme indiqué sur la figure 203.

Toujours sur ce même panneau, fixez les douilles banane de sortie, qui vous serviront pour prélever la tension alternative de 0, 12 et 24 volts, la tension continue non stabilisée de 20 volts et celle continue stabilisée que vous pourrez choisir entre ces différentes valeurs : 5, 6, 9, 12 et 15 volts.

Lorsque vous fixez ces douilles banane, vous devez d'abord retirer la bague isolante en plastique, puis, après avoir inséré les douilles dans les trous du panneau, enfilez la bague et serrez les écrous comme indiqué sur la figure 206. Si vous n'appliquez pas cette bague en plastique sur la partie postérieure de la douille, la vis centrale sera en contact avec le métal du panneau et entraînera le court-circuit de toutes les sorties, causant ainsi la chute totale de la tension de sortie.

Avant de remettre le panneau en place dans le boîtier, soudez deux fils isolés plastique sur les deux broches de l'interrupteur S1. Dénudez leurs extrémités en retirant l'isolant sur environ 3 mm. Ensuite, soudez les fils en cuivre après les avoir enfilés dans les trous des broches. Lorsque la soudure a refroidi, essayez de les bouger ou de les tirer pour vérifier qu'ils ont été bien soudés.

Dans le cas où cet interrupteur aurait trois broches, soudez un fil sur la broche centrale et l'autre sur une des deux broches latérales (voir figure 198).

Prenez à présent deux petits fils isolés plastique bicolore et soudez-les sur les deux pattes des diodes LED (voir DL1 et DL2). Vous devrez maintenir ces deux pattes légèrement éloignées l'une de l'autre afin d'éviter qu'elles ne se touchent. Comme vous le savez déjà, ces diodes ont une broche plus longue appelée "anode" (voir lettre A) et une plus courte appelée "cathode" (voir lettre K), dont il faut respecter la polarité. Si vous inversez par erreur la position des deux fils sur le bornier, il ne se passera rien de grave mais la diode LED ne pourra pas s'allumer. Dans ce cas-là, il suffit d'inverser les deux fils sur le bornier pour que les diodes s'allument. Vous ne verrez bien

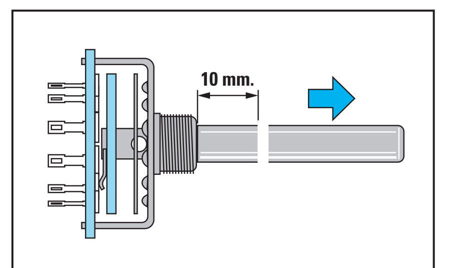


Figure 203 : L'axe du commutateur S2 sera scié de façon à obtenir une longueur restante d'environ 10 millimètres.

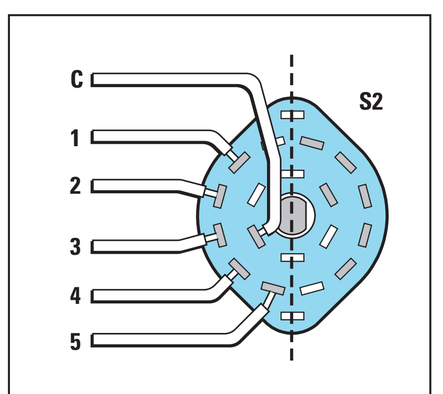


Figure 204 : Le commutateur S2 étant composé de deux sections identiques, l'une d'elles restera inutilisée.

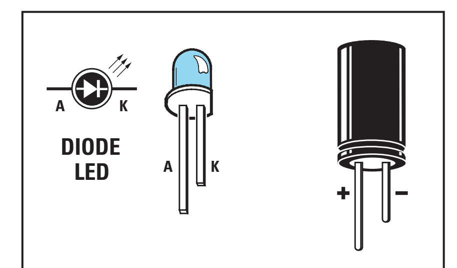


Figure 205 : La patte la plus longue de la diode LED "l'anode", celle du condensateur électrolytique est le "positif".

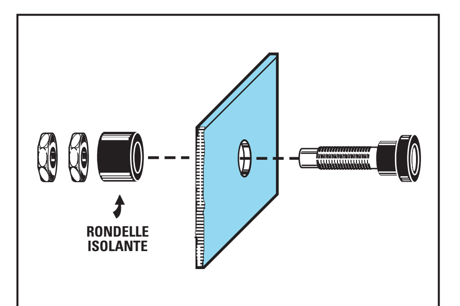


Figure 206 : Pour fixer les douilles bananes sur la face avant, vous devrez retirer de leurs corps la bague isolante plastique et la replacer côté intérieur.

sûr s'allumer que la diode DL2, car DL1 s'allume uniquement quand l'appareil alimenté est court-circuité.

A présent, prenez deux morceaux de fils rouge et noir, d'un diamètre supérieur à celui utilisé pour alimenter les deux diodes LED, et retirez à leur extrémité environ 5 mm de plastique de façon à dénuder le fil de cuivre.

Soudez le fil noir sur la sortie de la douille noire et le fil rouge sur la sortie de la douille rouge de la "SORTIE 20 V". Faites de même pour les douilles "TENSION STABILISEE".

Faites attention car souder ces fils sur les douilles en laiton présente une certaine difficulté. En effet, si le corps des douilles n'est pas bien préchauffé par la panne du fer à souder lorsque vous y déposerez la soudure, celle-ci se refroidira immédiatement sans adhérer au métal. Afin d'évitez cet inconvénient, nous vous conseillons de commencer par étamer les extrémités des fils qui devront être soudés aux douilles, puis par étamer l'extrémité des douilles. Vous pourrez alors appuyer l'extrémité du fil en cuivre à l'extrémité de la douille, puis faire votre soudure en maintenant la panne du fer contre l'extrémité de la douille jusqu'à ce que toute la soudure soit bien fondue et brillante.

Insérez les extrémités opposées des fils venant des douilles, après les avoir étamés pour éviter qu'ils ne s'effilochent, dans les trous des borniers du circuit imprimé, en respectant le positif et le négatif et, bien sûr, en serrant les vis afin d'assurer un bon contact.

Les extrémités opposées des fils que vous avez soudés dans les trous C, 4, 3, 2 et 1, devront être soudées, une fois étamés, sur les broches correspondantes du commutateur S2. Etant donné que ce commutateur est composé de deux sections, vous trouverez sur son corps six broches d'un côté et six de l'autre (voir figure 204). Une seule des deux sections est utilisée. Le choix de cette section est sans importance mais rappelez-vous que la broche C (curseur central) est celle placée le plus vers l'intérieur.



Figure 208 : Pour tester l'alimentation, vous pouvez relier une ampoule de 12 volts sur sa sortie. Cette ampoule peut également être reliée sur les douilles de sortie des tensions alternatives 0 V – 12 V.

Essayez de respecter l'ordre des fils, comme représenté sur le schéma de la figure 198, car en les inversant, vous risqueriez, par exemple, de retrouver une tension de 12 ou 15 volts sur la position "5 V".

A présent, prenez le cordon d'alimentation secteur 220 volts et insérez-le dans le trou qui se trouve sur le panneau arrière du boîtier. Pour éviter qu'en tirant dessus involontairement le cordon ne soit arraché du circuit imprimé, pensez à faire un nœud qui assurera la butée contre ce panneau (voir figure 207).

Après avoir dénudé les extrémités du câble secteur sur 5 mm, torsadez les brins et étamez-les pour éviter qu'ils ne s'effilochent. Ensuite, après avoir inséré les extrémités du câble secteur dans les trous du bornier, serrez les deux vis puis contrôlez qu'elles soient effectivement bien bloquées en tirant légèrement dessus.

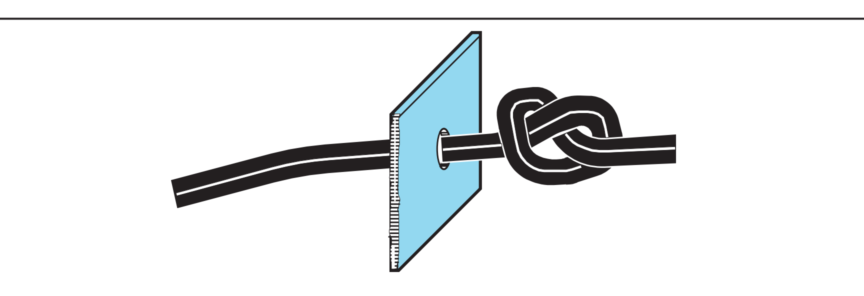


Figure 207 : Pour éviter que le cordon d'alimentation secteur 220 volts ne soit arraché accidentellement, il est conseillé de faire un nœud sur la partie du fil qui reste à l'intérieur du boîtier.

Vous devrez également insérer sur ce bornier les deux fils provenant de l'interrupteur S1.

Une fois le couvercle du boîtier plastique refermé avec ses deux vis, fixez le bouton sur l'axe du commutateur S2 et, en le tournant, vérifiez que son index corresponde bien aux valeurs 5, 6, 9, 12 et 15 V. Si ce n'est pas le cas, dévissez légèrement le bouton, puis positionnez l'encoche face à "5 V" et resserrez la vis.

Quand toutes ces opérations seront terminées, votre alimentation est prête à être utilisée.

Dernières vérifications

Branchez la prise de votre alimentation sur le secteur, puis, actionnez l'interrupteur S1 de façon à allumer la diode LED DL2. Quand cette diode s'allume, les tensions que nous vous avons indiquées sont disponibles sur les douilles de sortie.

Afin de le vérifier, mesurez-les à l'aide d'un multimètre et si vous n'en avez pas encore, procurez-vous une petite ampoule d'environ 12 V – 3 watts et reliez-la sur les deux sorties 0 et 12 volts alternatifs. Vous verrez alors l'ampoule s'allumer.

Maintenant, reliez-la sur la sortie des tensions stabilisées et tournez le bouton du commutateur S2 de la position

"5 V" vers "15 V" et vous verrez que la luminosité de l'ampoule augmente progressivement.

Evitez de garder trop longtemps l'ampoule sur la tension "15 V" car elle pourrait griller. En effet, nous l'alimentons avec une tension supérieure aux 12 volts nécessaires à son fonctionnement. Pour la même raison, évitez de relier l'ampoule sur la tension non stabilisée des 20 volts.

Lorsque vous éteignez l'alimentation par l'intermédiaire de l'interrupteur S1, ne vous étonnez pas si la diode LED DL2 ne s'éteint pas instantanément car, tant que les condensateurs électrolytiques C1, C2 et C3 ne sont pas complètement déchargés, la diode LED reste allumée.

L'alimentation que vous venez de réaliser, après quelques leçons seulement, sera votre premier succès, et vous vous rendrez bien vite compte combien elle est indispensable dans le domaine de l'électronique.

Note : n'utilisez jamais l'alimentation avant de l'avoir enfermé dans son boîtier plastique afin éviter tout contact accidentel avec la tension secteur 220 volts, ce qui est, vous vous en doutez, très dangereux.

LES ELECTROAIMANTS

Lorsqu'une tension traverse un fil de cuivre, il se forme autour de lui des lignes concentriques capables de générer un très faible flux magnétique (voir figure 212). Si l'on enroule un certain nombre de spires sur un support, le flux magnétique augmente au point de réussir à attirer à lui de petits objets métalliques, comme le ferait un simple aimant.

Plus on bobine de spires ou plus on applique une tension importante aux extrémités de la bobine, plus le flux magnétique augmente.

Pour renforcer l'action du flux magnétique, il suffit d'insérer un noyau de fer à l'intérieur de la bobine. On obtient ainsi un petit électroaimant qui attirera de petits objets métalliques lorsqu'on appliquera une tension à la bobine et qui les repoussera en l'absence de tension.

Les électroaimants sont utilisés en électronique pour réaliser des relais (voir figure 210), c'est-à-dire des commutateurs capables d'ouvrir et de fermer les contacts mécaniques.

Comme l'observation d'un champ magnétique n'est possible qu'à travers ces effets, nous avons pensé utile de mettre à votre disposition, sous forme de kit (LX.5005), deux supports déjà bobinés accompagnés de quelques accessoires. Vous aurez ainsi la possibilité de faire des expériences très

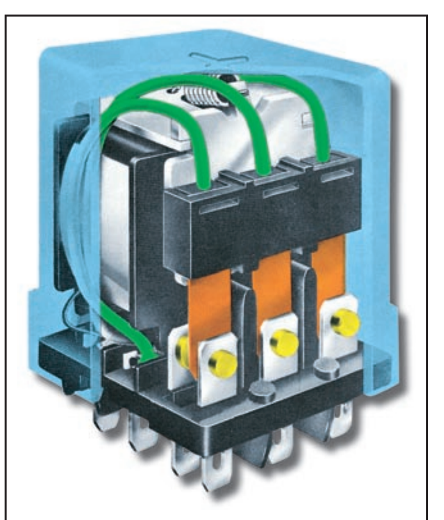


Figure 209 : Un relais est un élément composé d'un électroaimant servant à fermer ou à ouvrir des contacts mécaniques.

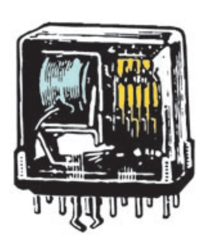








Figure 210 : Les relais peuvent avoir différentes formes et dimensions. Vous ne devez appliquer sur la bobine de chaque relais que la tension de travail pour laquelle elle a été calculée, c'est-à-dire 4, 6, 12, 24 et 48 volts.

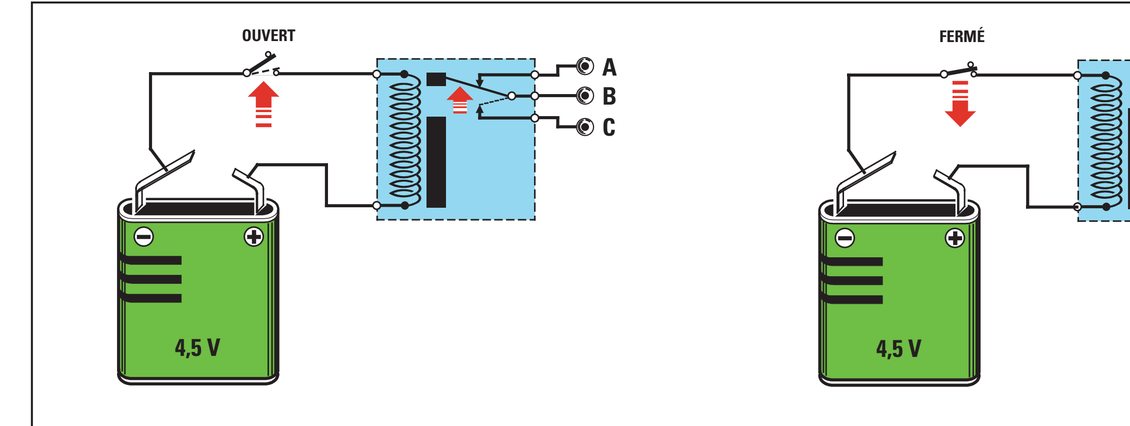


Figure 211 : Si la bobine du relais n'est pas alimentée, les contacts A et B resteront fermés. Dès sa mise sous tension les contacts B et C se fermeront, tandis que les contacts A et B s'ouvriront.

instructives avec ces électro-aimants à monter soi-même.

La première expérience consiste à prendre les deux boulons de fer se trouvant dans le kit et à les insérer à l'intérieur des bobines sans les fixer avec leurs écrous.

Positionnez les bobines sur une table, à une distance de 1 cm environ comme le suggère la figure 215 et reliez sur leurs extrémités une tension continue de 12 volts que vous pouvez obtenir de l'alimentation LX.5004, réalisé dans cette leçon.

Vous verrez alors se vérifier seulement deux phénomènes :

1) Les têtes des deux boulons se repoussent.

Ce phénomène se vérifie quand les parties des deux bobines mises face à face ont la même polarité, c'est-à-dire Nord/Nord ou Sud/Sud.

2) Les têtes des deux boulons s'attirent.

Ce phénomène se vérifie quand les parties des deux bobines mises face à face ont une polarité opposée, c'est-à-dire Nord/Sud ou Sud/Nord.

Si vous remarquez que les têtes des deux boulons se repoussent, retourner seulement l'une des deux bobines et vous verrez les deux boulons s'attirer avec force. Pour les séparer, il suffira de couper la tension d'alimentation.

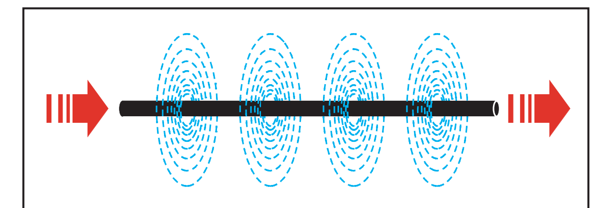


Figure 212 : Lorsqu'une tension traverse un fil de cuivre, de faibles flux magnétiques se créent tout autour.

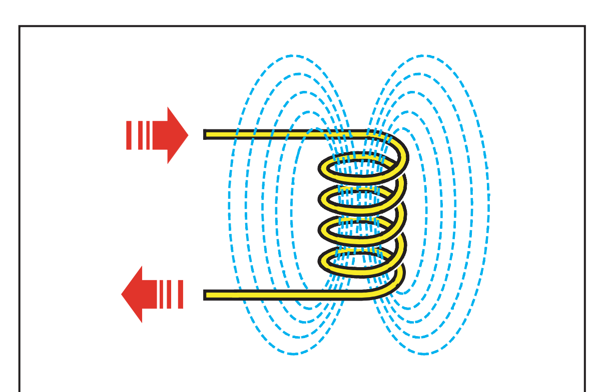


Figure 213 : Pour augmenter ce flux magnétique, il suffit d'enrouler un certain nombre de spires sur un support.

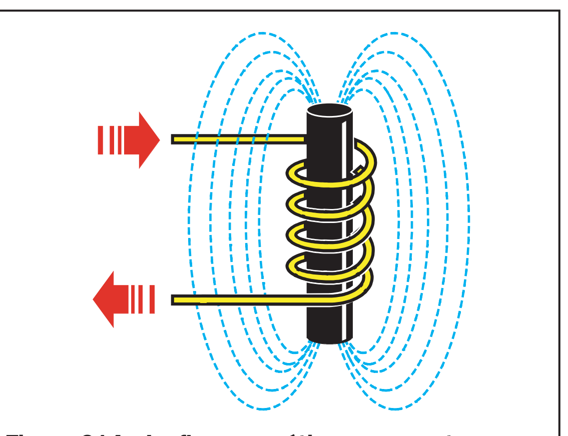


Figure 214 : Le flux magnétique augmente encore si l'on place à l'intérieur de cette bobine un noyau en fer.

Si vous appliquez pendant quelques minutes la lame d'un petit tournevis sur la tête du boulon d'une des deux bobines, lorsque vous la retirerez, elle sera aimantée.

Si vous alimentez la bobine avec une tension de 6 volts la puissance d'attraction diminuera, tandis qu'avec une tension de 15 volts, cette puissance augmentera.

L'échauffement de la bobine ne doit pas vous inquiéter car il est absolument normal. Si vous remarquez que la bobine est chaude au point de ne pas pouvoir la toucher, interrompez vos expériences et attendez qu'elle refroidisse.

Ne vous inquiétez pas non plus si après un moment vous remarquez que le boulon inséré à l'intérieur de la bobine est lui aussi aimanté car, étant en acier, il réagit de la même façon que la lame du tournevis.

Si, au lieu d'alimenter les deux bobines avec une tension continue de 9 ou 12 volts, vous les alimentez avec une tension alternative de 12 volts, que vous pouvez toujours prélever de l'alimentateur LX.5004, vous sentirez vibrer les deux boulons à une fréquence de 50 hertz.

Une autre expérience que vous pouvez réaliser, consiste à prendre de la limaille de fer que vous déposerez sur un morceau de carton. Vous pouvez vous la procurer en limant vous-même

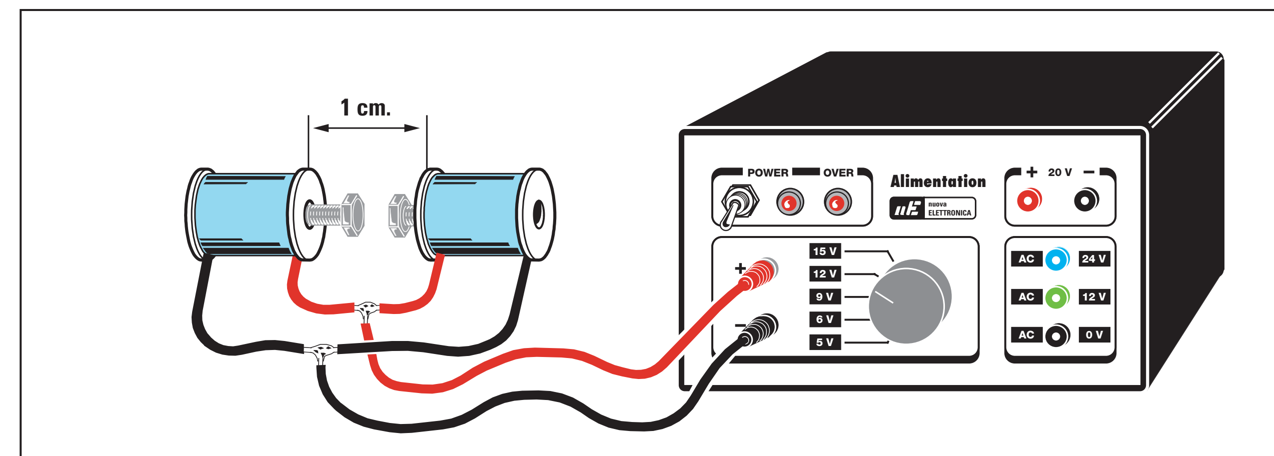


Figure 215 : En alimentant les deux bobines avec une tension "continue" de 12 volts, vous verrez les deux têtes des boulons placées à l'intérieur des bobines s'attirer avec force.

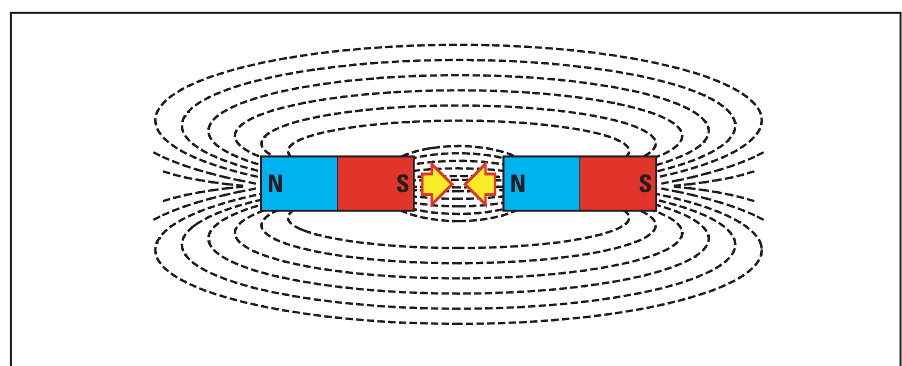


Figure 216 : Les têtes des deux boulons ne s'attirent que si elles ont deux polarités opposées, c'est-à-dire Nord/Sud ou Sud/Nord.

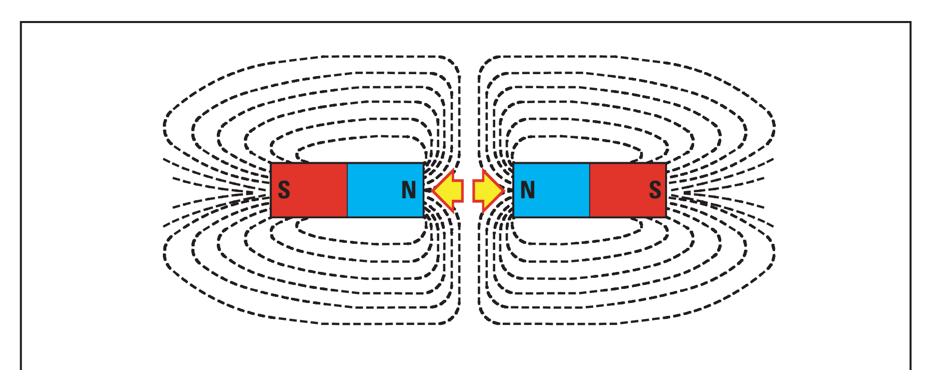


Figure 217 : Les têtes des deux boulons se repoussent quand elles ont la même polarité, c'est-à-dire Nord/Nord ou Sud/Sud.

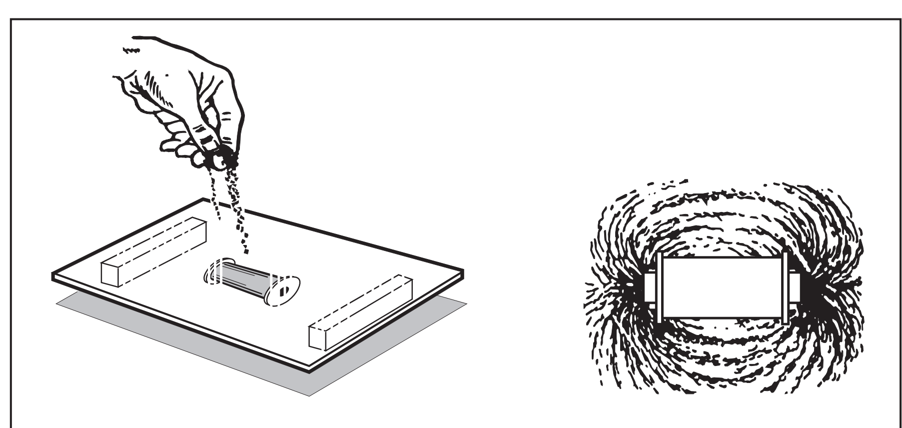


Figure 218 : Si vous placez votre bobine sous un petit carton sur lequel vous avez déposé de la limaille de fer, vous verrez se dessiner le flux magnétique.

un morceau de fer ou en demandant à un serrurier un peu de la poussière tombée sous sa meule.

Si vous placez notre électroaimant alimenté avec une tension continue sous le carton et la limaille, vous verrez la limaille de fer dessiner sur le carton le flux magnétique généré par l'électroaimant (voir figure 218).

Si vous placez sous le carton la même bobine dans le sens vertical, vous verrez encore la limaille dessiner le flux magnétique, mais en se disposant cette fois d'une façon complètement différente de la précédente.

Théoriquement, en alimentant une seule des deux bobines, son champ magnétique devrait influencer de façon inductive l'enroulement de la deuxième, et on devrait alors retrouver aux extrémités de celle-ci une tension identique à celle appliquée sur la première. Toutefois, ceci ne se vérifie que si vous appliquez sur la première bobine une tension alternative.

Pour faire cette expérience, reliez aux extrémités de la seconde bobine une diode LED, avec une résistance de 220 ohms en série.

Si vous alimentez la première bobine avec une tension continue, vous obtiendrez un champ magnétique instantané qui ne réussira à influencer la seconde bobine que pendant le bref instant ou vous appliquerez ou retirerez la tension, et donc, la diode LED ne s'allumera pas (voir figure 222).

En théorie, si vous alimentez la première bobine avec une tension alternative de 12 volts, vous devriez obtenir un champ

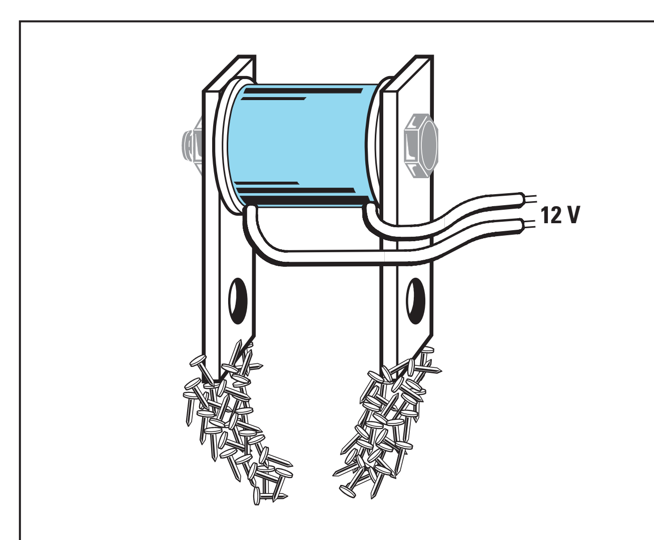


Figure 219 : Si vous fixez les deux petites plaques de fer des deux côtés de la bobine, vous verrez que leurs extrémités attireront des petits corps métalliques comme le ferait un aimant.

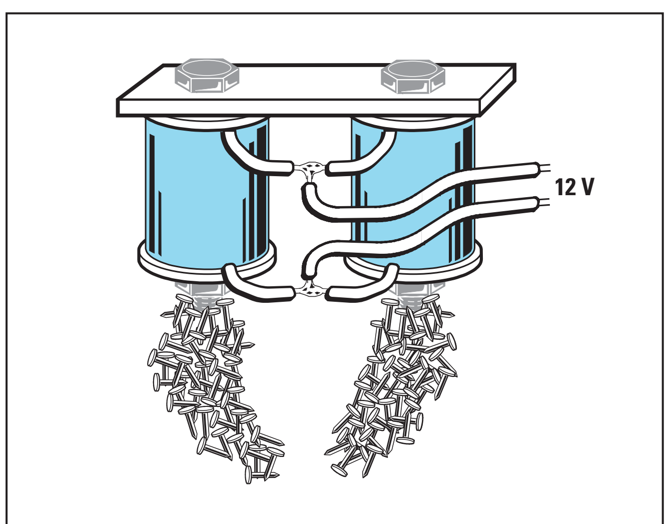


Figure 220 : Si vous fixez deux bobines sur une seule petite plaque, vous augmenterez la force d'attraction. Si rien ne se passe, retournez l'une des deux bobines.

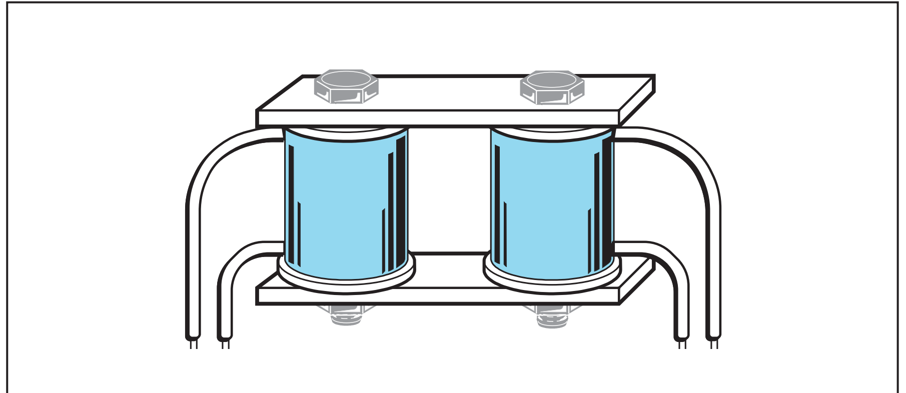


Figure 221 : Après avoir effectué toutes les expériences que nous vous avons décrites, prenez les deux petites plaques de fer et fixez-les sur les extrémités des deux bobines comme vous pouvez le voir sur ce dessin car, à présent, nous vous proposons une nouvelle expérience très intéressante.

magnétique alternatif et donc une tension alternative de 12 volts également aux bornes de la seconde bobine.

Cette tension ne pourra sortir sur la seconde bobine que dans les conditions que nous venons de décrire.

En pratique, vous obtiendrez une tension inférieure à 12 volts car le noyau en fer (vis + petites barres), utilisé pour transférer le flux magnétique de la première à la seconde bobine entraîne des pertes. Toutefois, la tension que vous obtenez sur la seconde bobine est plus que suffisante pour allumer la diode LED qui y est reliée (voir figure 222).

Sans le savoir, vous avez réalisé un petit transformateur capable de transférer une tension alternative de la première à la seconde bobine par l'intermédiaire d'un noyau en fer.

Vous vous êtes assuré, grâce à cette expérience, qu'un transformateur ne peut fonctionner qu'avec une tension alternative et pas avec une tension continue.

Ceci vous aidera à comprendre plus facilement la leçon dans laquelle nous parlerons des transformateurs, utilisés en électronique, pour abaisser la tension du secteur 220 volts à des valeurs de tension alternatives de 30, 25, 12 et 9 volts ou à n'importe quelle autre valeur.

◆ **G. M.**

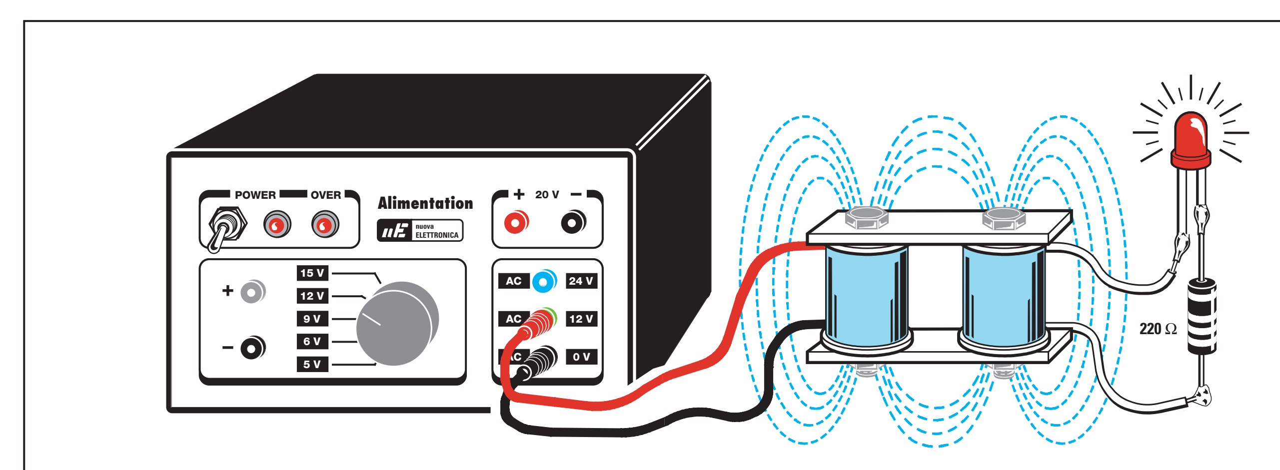


Figure 222 : Reliez une résistance de 220 ohms et une diode LED sur les fils d'une bobine comme décrit sur ce dessin. Ensuite, reliez les extrémités de la bobine opposée aux bornes 12 volts alternatif de l'alimentation LX.5004 et vous verrez, à votre grande surprise, la diode LED s'allumer.

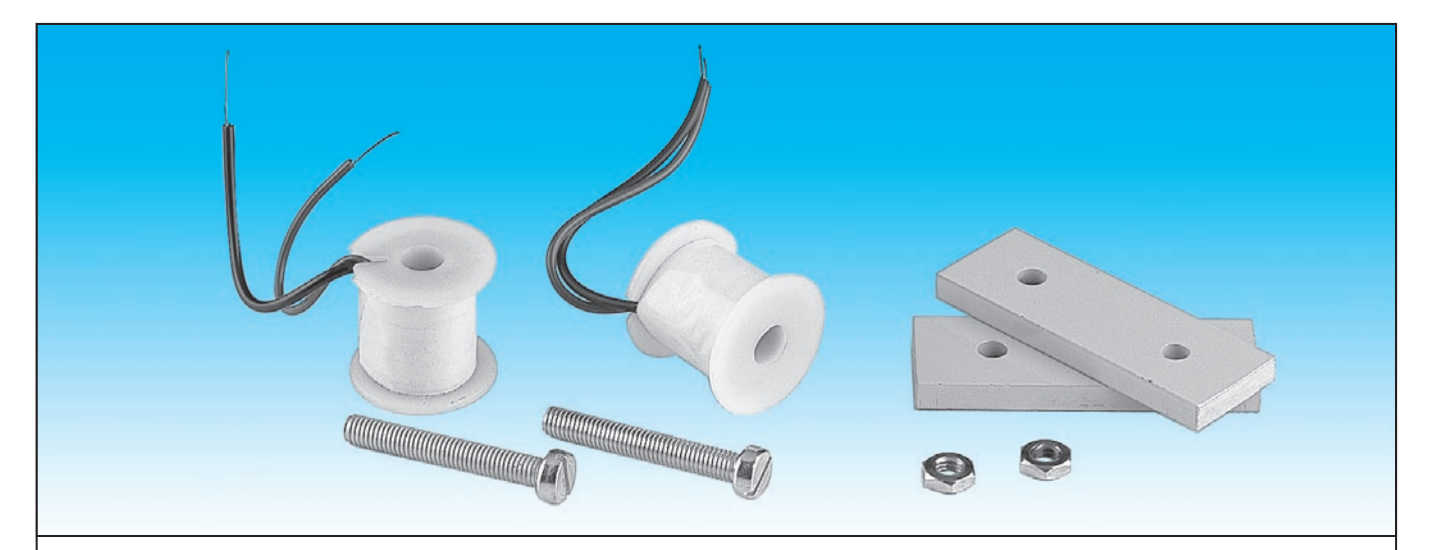


Figure 223 : Dans le kit LX.5005, vous trouverez, pour effectuer les expériences décrites, deux bobines déjà bobinées, deux boulons en fer et leurs écrous ainsi que deux petites plaques percées.

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Transformateurs de tension pour alimentation

Grâce à la dernière expérience que nous vous avons proposée à travers les pages consacrées aux électro-aimants (voir leçon n° 7), nous avons vu qu'il est possible de transférer par induction une tension alternative d'une bobine à une autre, dès lors qu'elles contiennent un noyau en fer.

Cette propriété est utilisée en électronique pour réaliser les transformateurs de tension pour alimentation.

On appelle l'enroulement sur lequel est appliquée la tension à transformer le "primaire" et l'enroulement duquel la tension transformée est prélevée, le "secondaire" (voir figure 224).

La tension alternative pouvant être prélevée de l'enroulement secondaire est proportionnelle au nombre de spires bobinées.

Le transformateur est un composant employé dans pratiquement tous les appareils électroniques. Il sert à augmenter ou à réduire la valeur de n'importe quelle tension alternative. Il peut être monté directement sur le circuit imprimé, sur le châssis ou dans le boîtier mais il peut également être externe.

Grâce au transformateur, il est possible d'élever la tension alternative du secteur 220 volts à des valeurs de 400, 500 ou 1 000 volts, par exemple, ou bien de la réduire à des valeurs de 5, 12, 18, 25 ou 50 volts, toujours par exemple. En fait, un transformateur permet de transformer n'importe quelle tension alternative en n'importe quelle autre tension également alternative.

Bien que ceux qui réalisent eux-mêmes les transformateurs soient peu nombreux, et bien qu'il soit possible d'en trouver ayant toutes les valeurs de tension nécessaires dans le commerce, nous avons malgré tout souhaité consacrer une leçon à ces composants car, avant de les utiliser, il est indispensable de bien les connaître.

A travers cette leçon, vous apprendrez comment déterminer la puissance en watts d'un transformateur ainsi que le courant en ampères pouvant être prélevée sur ses enroulements secondaires, courant qui dépend, entre autres, du diamètre du fil de cuivre utilisé.

La plupart des appareils électroniques étant alimentés par une tension continue, nous vous apprendrons à transformer une tension alternative en tension continue en utilisant des diodes au silicium ou des ponts redresseurs. Nous verrons également la raison pour laquelle il est nécessaire de toujours monter un condensateur électrolytique de capacité élevée sur la sortie de la tension alternative redressée.

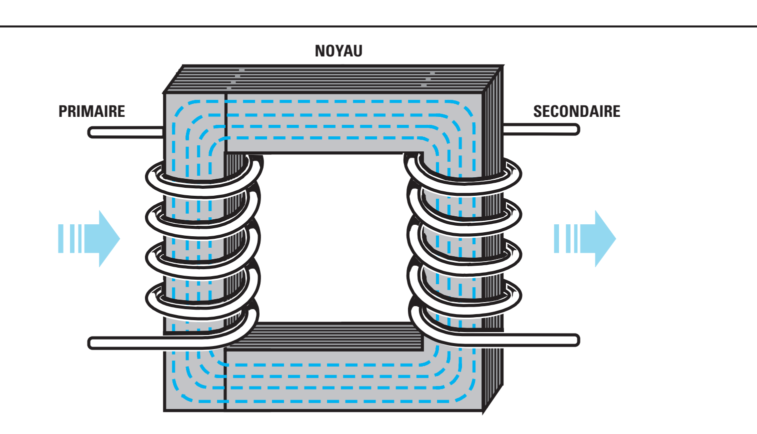


Figure 224 : Un transformateur est toujours composé d'un enroulement "primaire", sur lequel on applique la tension inductive et d'un enroulement "secondaire", duquel on prélève la tension induite. La tension alternative que nous prélevons sur l'enroulement secondaire est toujours proportionnelle au nombre de spires bobinées. Les transformateurs sont toujours représentés, dans les schémas électriques, comme sur la figure 225.

Il en découle que, si on enroule 100 spires sur l'enroulement primaire et que l'on a le même nombre de spires sur l'enroulement secondaire, on devrait, théoriquement, trouver sur le secondaire une tension identique à la tension appliquée sur le primaire.

Donc, en appliquant une tension alternative de 10 volts sur l'enroulement primaire, on devrait, en théorie, trouver 10 volts sur l'enroulement secondaire (voir figure 225).

Si l'enroulement du secondaire comporte le double de spires du primaire, c'est-à-dire 200, on devrait alors y trouver une tension double, c'est-à-dire 20 volts (voir figure 226).

Si l'enroulement du secondaire ne comporte que la moitié des spires du primaire, c'est-à-dire 50, on devrait alors n'y trouver que la moitié de la tension, c'est-à-dire 5 volts (voir figure 227).

En variant le rapport des spires entre l'enroulement primaire et le secondaire, on obtiendra de l'enroulement secondaire du transformateur, n'importe quelle valeur de tension.

Si on applique sur un enroulement primaire composé de 1 100 spires, une tension de secteur 220 volts, on obtiendra un rapport spires/volts égal à :

1 100 : 220 = 5 spires par volt

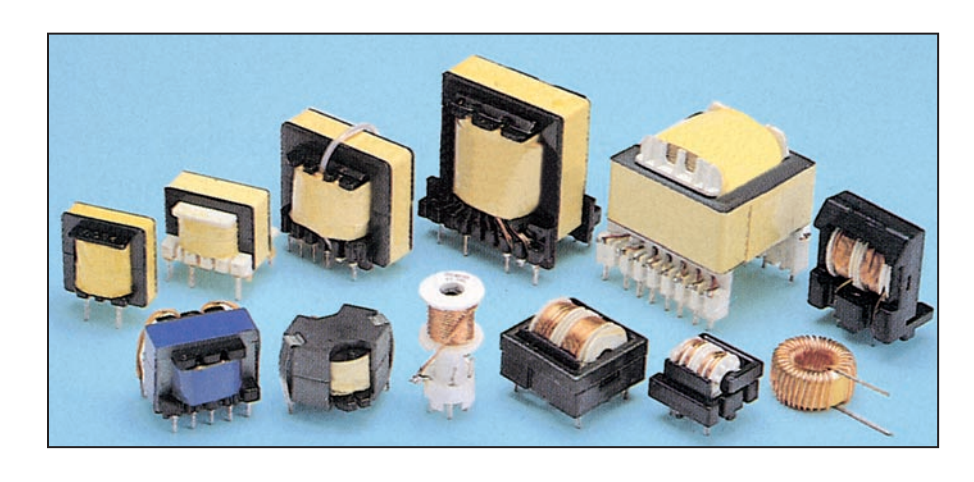
C'est pourquoi, si on voulait obtenir sur l'enroulement secondaire une tension de 12 volts, on devrait, en théorie, bobiner :

5 x 12 = 60 spires

Si, au contraire, on voulait obtenir sur le secondaire une tension de 35 volts, on devrait, en théorie, bobiner :

5 x 35 = 175 spires

Dans la pratique, pour compenser les pertes de transfert intervenues entre l'enroulement primaire et le secondaire,



le nombre de spires par volt de l'enroulement secondaire doit être multiplié par 1,06. Donc, pour obtenir une tension de 12 volts, on ne devrait plus enrouler 60 spires, mais :

5 x 12 x 1,06 = 63,6 spires

Résultat que l'on peut facilement arrondir à 64 spires car cette 0,4 spire nous donnera 12,07 volts au lieu de 12,00 volts (voir figure 228), c'est-à-dire une différence dérisoire.

De même que pour obtenir une tension de 35 volts, on ne devra plus enrouler 175 spires, mais :

5 x 35 x 1,06 = 185,5 spires

Résultat que l'on peut arrondir à 185 ou bien à 186, car une demie spire ne détermine une différence, en plus ou en moins, que de 0,1 volt.

Remarque : En mesurant la tension d'un secondaire à vide, c'est-à-dire sans le relier à un circuit absorbant du courant électrique, on trouvera une tension légèrement supérieure à ce que l'on a calculé. Dès que l'on reliera cet enroulement à un circuit absorbant du courant, la tension tombera à la valeur nécessaire.

Les transformateurs sont généralement utilisés pour abaisser la tension du secteur 220 volts à des valeurs de 9, 12, 18, 24 ou 35 volts de façon à pouvoir

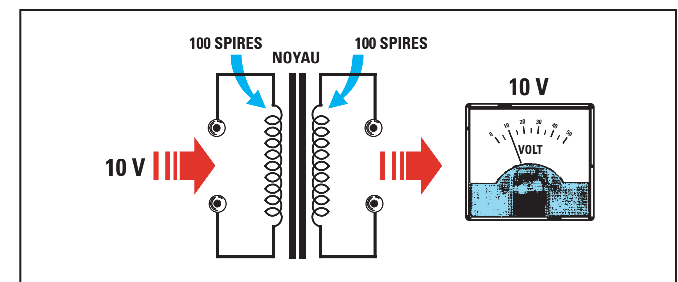


Figure 225 : Si l'on applique une tension alternative de 10 volts sur un transformateur dont le primaire se compose de 100 spires, sur son secondaire, également composé de 100 spires, on prélèvera une tension de 10 volts, car le nombre de spires est identique.

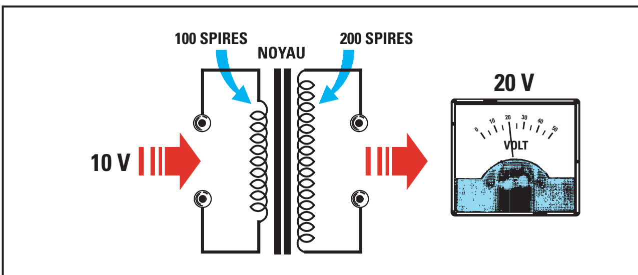


Figure 226 : Si nous bobinons un secondaire de 200 spires sur le même transformateur, nous devrions, en théorie, obtenir une tension double, c'est-à-dire de 20 volts alternatifs. En pratique, nous obtiendrons une tension légèrement inférieure en raison des pertes de transfert.

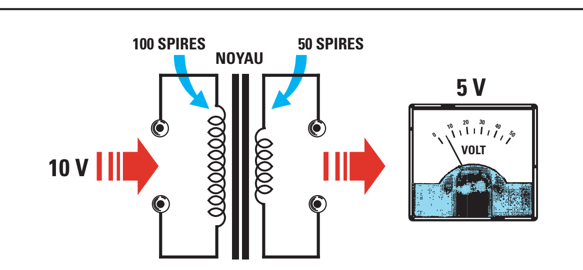


Figure 227 : Si nous bobinons un secondaire de 50 spires, toujours sur le même transformateur, nous devrions, en théorie, obtenir une tension réduite de moitié, c'est-à-dire de 5 volts alternatifs. En effet, sur le primaire de 100 spires nous appliquons 10 volts et sur le secondaire, qui n'en possède que la moitié, nous prélevons 5 volts (aux pertes près).

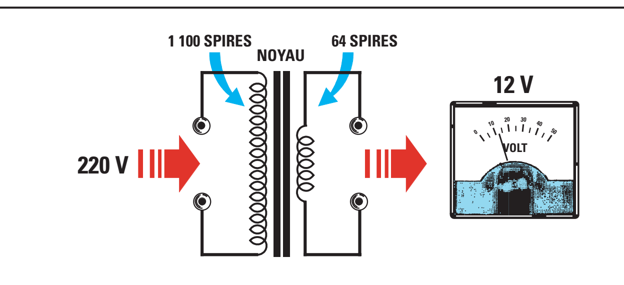


Figure 228 : Si l'on applique une tension alternative de 220 volts sur un transformateur dont le primaire se compose de 1 100 spires, sur son secondaire, composé de 64 spires, on prélèvera une tension alternative de 12 volts.

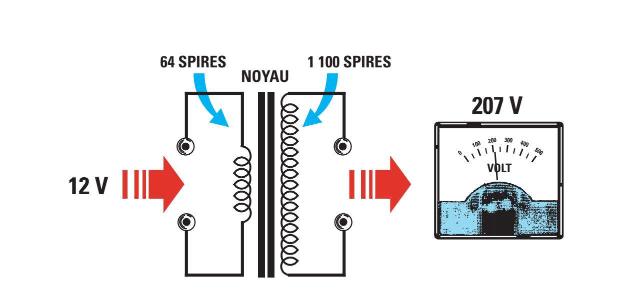


Figure 229 : Si l'on applique une tension alternative de 12 volts sur le secondaire de 12 volts du transformateur de la figure 228, on obtiendra, sur le primaire, une tension de 207 volts.

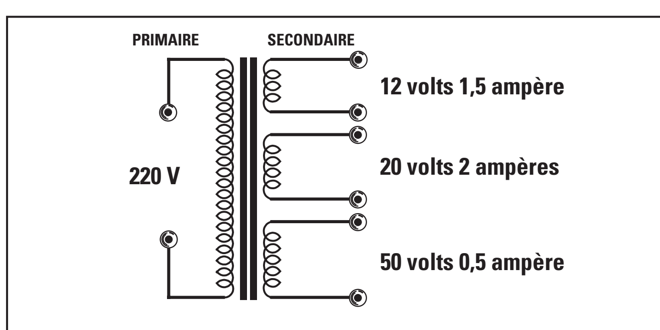


Figure 230 : Plusieurs secondaires capables de débiter des tensions et des courants différents peuvent être présents à l'intérieur d'un même transformateur. En additionnant les puissances en watts fournies par chaque secondaire, on obtient la puissance totale du transformateur.

alimenter des transistors, des circuits intégrés, des relais, des écrans, etc.

Un transformateur peut parfois être utilisé pour obtenir le résultat inverse, c'est-à-dire fournir au secondaire une tension supérieure à celle appliquée sur le primaire. Bien sur, dans ce cas aussi, il faut tenir compte des pertes de tension de transfert.

Imaginons, par exemple, que l'on veuille utiliser à l'envers, un transformateur normalement pourvu d'un primaire adapté à une tension secteur de 220 volts et capable de fournir une tension de 12 volts sur son secondaire. En théorie, si on applique une tension alternative de 12 volts sur le secondaire, on devrait alors obtenir 220 volts sur l'enroulement primaire (voir figure 229).

En pratique, ce n'est pas possible en raison des pertes de transfert, la tension que l'on prélèvera sera donc seulement d'environ :

220 : 1,06 = 207 volts

Un transformateur peut aussi disposer de plusieurs secondaires capables de fournir des tensions différentes de façon à pouvoir satisfaire toutes les exigences d'un montage. On peut donc trouver dans le commerce des transformateurs équipés d'un primaire 220 volts et de plusieurs secondaires capables de fournir respectivement 12, 20, 50 volts, etc. (voir figure 230).

Les enroulements primaire et secondaire(s) d'un transformateur "abaisseur" de tension se reconnaissent facilement :

- l'enroulement primaire est formé de beaucoup de spires de fil fin et de ce fait a une meilleure résistance ohmique,
- le ou les secondaires sont formés de peu de spires de gros fil et donc ont une faible résistance ohmique.

Dimensions et puissance

Les dimensions des transformateurs varient selon leur puissance.

A caractéristiques de tensions primaire et secondaire équivalentes, les transformateurs de petites dimensions ne peuvent évidemment fournir que de petites puissances. Plus leur taille augmente, plus la puissance augmente.

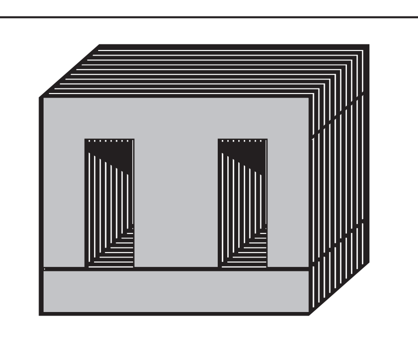
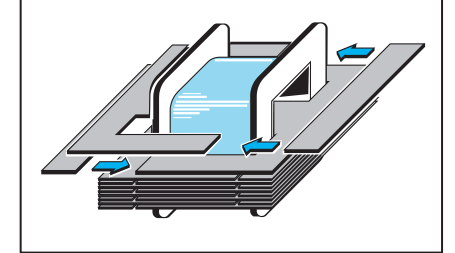


Figure 231 : Le type de tôle au silicium le plus utilisé est celui qui se compose d'un E et d'un I (EI). Ces lamelles sont placées à l'intérieur du support sur lequel sont bobinés les enroulements primaire et secondaire(s). Pour obtenir un bon rendement, on monte les tôles de façon alternée, c'est-à-dire E – I, puis I – E, etc. En plaçant tous les E d'un même côté et tous les I du côté opposé, on réduit le rendement du transformateur.



Il est possible de déterminer, en fonction du courant et de la tension que l'on peut obtenir sur ses secondaires, la puissance en watts d'un transformateur.

Si l'on a un transformateur équipé de deux secondaires, l'un capable de fournir 12 volts sous 1,3 ampère et l'autre 18 volts sous 0,5 ampère, pour connaître sa puissance, il suffit de multiplier la tension par le courant donc les volts par les ampères (V x A = W) :

12 x 1,3 = 15,6 watts
18 x 0,5 = 9 watts

puis d'additionner la puissance débitée par les deux enroulements :

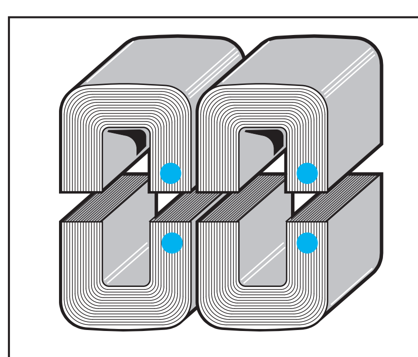
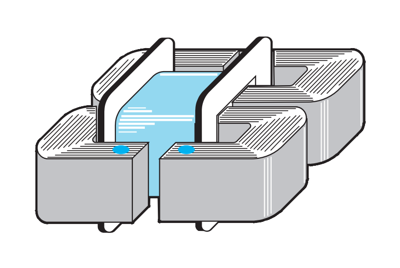


Figure 232 : Les tôles en C, que l'on trouve déjà façonnées et compactées comme montré sur la figure, nous permettent d'obtenir des rendements qui peuvent atteindre 88 %.
Quand on introduit ces blocs dans le support, il faut toujours diriger leurs points colorés les uns face aux autres, parce que leurs surfaces sont meulées en couple afin de réduire au minimum l'entrefer.



15,6 + 9 = 24,6 watts au total

Si l'on a un transformateur qui débite les mêmes tensions que le précédent, mais un courant supérieur, par exemple 12 volts sous 3,5 ampères et 18 volts sous 1,5 ampère, en multipliant les volts par les ampères, on obtiendra :

12 x 3,5 = 42 watts
18 x 1,5 = 27 watts

en additionnant les puissances des deux enroulements, on obtiendra une puissance en watts de :

42 + 27 = 69 watts au total

Si l'on a un enroulement calculé pour débiter un maximum de 3,5 ampères, on pourra également prélever des tensions de courant inférieures, par exemple 0,1, 0,5, 2 ou 3 ampères, mais on ne pourra jamais dépasser les 3,5 ampères, car autrement le transformateur surchauffera et par conséquent, s'endommagera.

Le noyau d'un transformateur

Le noyau d'un transformateur n'est jamais constitué d'un bloc de fer compact ou d'un boulon, comme celui que nous vous avons fait installer dans les électroaimants de la leçon numéro 7, car lorsqu'un noyau compact est soumis à un champ magnétique alternatif, il surchauffe sous l'effet des courants parasites qui se déplacent à l'intérieur.

Pour neutraliser ces courants, qui réduisent de façon considérable le rendement du transformateur, le noyau s'obtient en superposant de fines lamelles de fer et de silicium, séparées des deux côtés par un oxyde, de façon à parfaitement les isoler les unes des autres. Ces lamelles sont généralement appelées "tôles" (voir figure 231).

La puissance réelle en watts

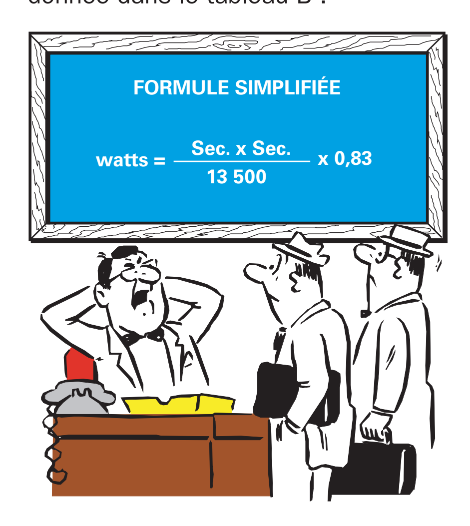
La puissance réelle en watts d'un transformateur ne se calcule pas en additionnant les watts débités par chaque secondaire, mais en calculant les dimensions du noyau qui se trouve à l'intérieur du support sur lequel se trouvent les enroulements (voir les figures 233 et 234).

Pour calculer la puissance réelle, on utilise généralement la formule donnée dans le tableau A :



Formule dans laquelle :
- **Sec.** est la section en millimètres carrés (mm^2) du noyau formé par l'empilage des lamelles de tôle en fer,
- **0,95** est le coefficient utilisé pour connaître la section nette (Sn) du noyau,
- **Weber** est la perméabilité en Weber que l'on peut lire dans le tableau 16,
- **140** est un nombre fixe.

Comme il est rare de connaître la valeur en Weber des lamelles de fer utilisées, on pourra utiliser la formule simplifiée donnée dans le tableau B :



Formule dans laquelle :
- **Sec.** est section en millimètres carrés (mm^2) du noyau des tôles,
- **13 500** est un nombre fixe,
- **0,83** est le rendement moyen en % entre une tôle de qualité moyenne et une de tôle de qualité supérieure.

Tableau 16

Type de lamelle	rendement (%)	Weber
Silicium de type standard	0,80	1,10
Silicium de qualité moyenne	0,82	1,15
Silicium de qualité supérieure	0,84	1,20
Silicium en grains orientés	0,86	1,25
Silicium avec noyau en C	0,88	1,30

Pour connaître la section du noyau, qui correspond généralement au passage qui lui est réservé au centre des bobinages, on mesure la largeur que l'on multiplie par la hauteur (voir figure 233). Nous signalons que la longueur du noyau n'a aucune incidence sur la puissance du transformateur.

Exemple : Imaginons que nous disposions d'un transformateur dont le noyau a les dimensions suivantes :

L = 22 millimètres, H = 38 millimètres.

Maintenant, à l'aide de ces paramètres, supposons que l'on veuille connaître sa puissance en watt, en ignorant les caractéristiques des tôles utilisées.

Solution : Comme première opération, calculons la section du noyau en multipliant L x H :

22 x 38 = 836 mm²

Etant donné que nous voulons utiliser la formule simplifiée, nous élevons à la puissance deux le résultat obtenu :

836 x 836 = 698 896

A présent, divisons ce chiffre par la valeur fixe 13 500 :

698 896 : 13 500 = 51,77 watts

Pour terminer, multiplions ce résultat en watts par le coefficient de rendement 0,83 et nous obtenons ainsi :

51,77 x 0,83 = 42,96 watts réels

Ne connaissant pas les caractéristiques exactes des tôles, nous devons considérer que la puissance en watts pourrait être égale à :

51,77 x 0,80 = 41,4 watts

lorsqu'il s'agit de tôles standards, ou égale à :

51,77 x 0,86 = 44,5 watts

s'il s'agit de tôles de type à grains orientés, tandis que, si le transformateur a des tôles de type C (voir figure 232), la puissance s'élèverait à plus de :

51,77 x 0,88 = 45,5 watts

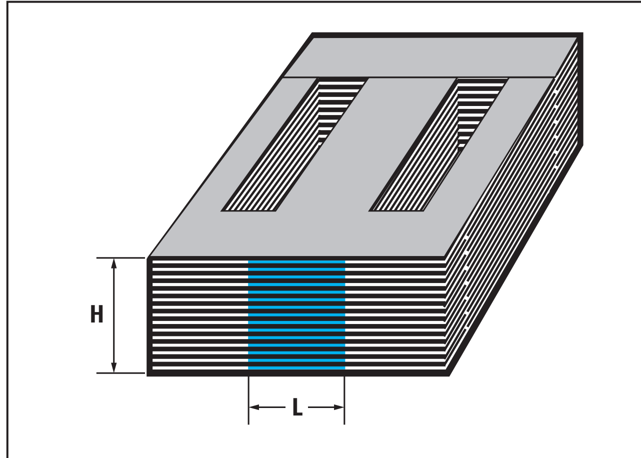


Figure 233 : Pour connaître la puissance en watt d'un transformateur, nous devons calculer la section du noyau en multipliant sa hauteur H de par sa largeur L.

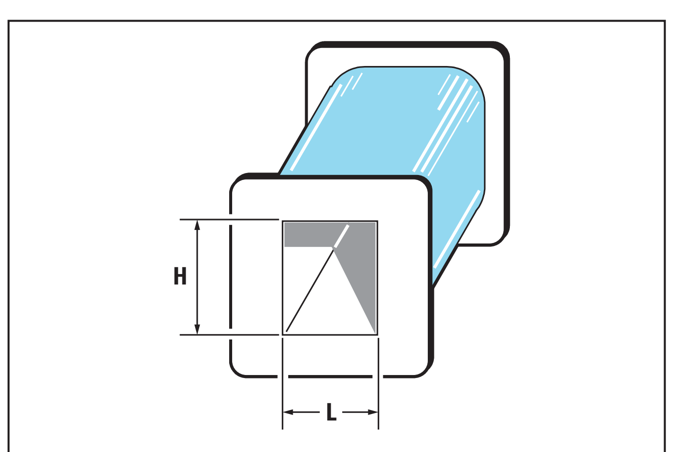


Figure 234 : La section du noyau se calcule également en mesurant la "fenêtre" du support. En connaissant la surface en millimètres carrés, nous pouvons calculer la puissance du transformateur.

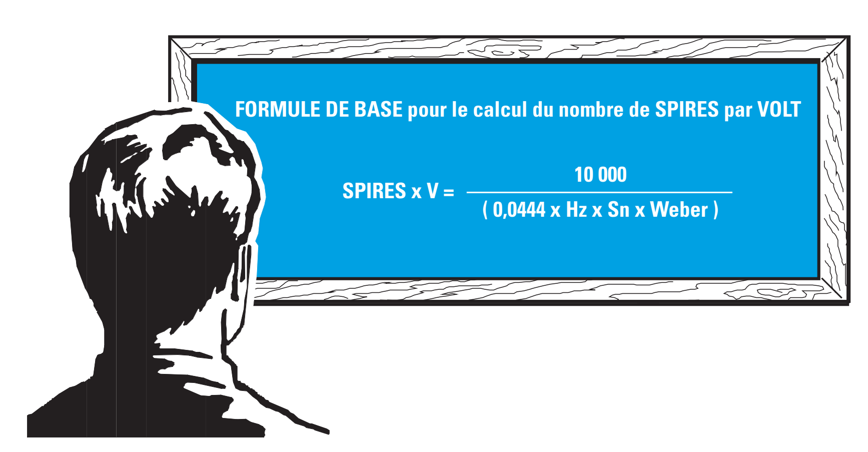
Donc, un transformateur ayant un noyau de 836 millimètres carrés, n'aura jamais une puissance inférieure à 41 watts.

S'il était constitué de tôles en C, sa puissance pourrait atteindre une valeur comprise entre 45 et 46 watts.

Spires par volt du primaire

Le nombre de spires par volt de l'enroulement primaire est proportionnel à la puissance en watt de son noyau.

La formule à utiliser, qui nous permet de connaître ce nombre de spires par volt à bobiner sur le primaire, est indiquée sur le tableau C.



Dans cette formule :
- **0,0444** est une valeur fixe,
- **Hz** est la fréquence de travail (50 hertz),
- **Sn** est la surface nette du noyau en millimètres carrés,
- **Weber** est la valeur extraite du tableau 16 en fonction de la qualité des tôles.

La valeur Sn (section nette ou réelle) indiquée dans cette formule, est obtenue en multipliant la section totale du noyau par 0,95.

La valeur Hz indique la fréquence de travail qui, pour tous les transformateurs reliés à la tension secteur 220 volts, est toujours égale à 50 Hz.

Les valeurs en Weber peuvent varier entre 1,1 et 1,3, comme vous pouvez le voir dans le tableau 16.

Lorsqu'on ignore les caractéristiques des tôles constituant le noyau, il est possible d'utiliser la valeur de 1,15 qui correspond au type de lamelles le plus fréquemment utilisé.

Exemple : Nous avons un transformateur ayant L = 22 mm et H = 40 mm.

Nous voulons connaître sa puissance en watts, le nombre de spires à bobiner sur le primaire pour pouvoir le relier sur la tension secteur 220 volts et le nombre de spires à bobiner sur le secondaire, afin d'obtenir une tension de 18 volts.

Solution : Pour connaître la puissance en watts, utilisons la formule simplifiée :

Puissance (watts) = [(section x section) : 13 500] x 0,83

Donc, comme première opération, calculons la section, c'est-à-dire la surface du noyau :

22 x 40 = 880 mm²

Ensuite, élevons-la à la puissance deux :

880 x 880 = 774 400

Après l'avoir divisée par 13 500, multiplions-la par le coefficient de rendement 0,83 :

(774 400 : 13 500) x 0,83 = 47,6 watts

Pour connaître le nombre de spires par volt à enrouler sur le circuit primaire, utilisons la formule suivante :

spires par volt = 10 000 : (0,0444 x Hz x Sn x Weber)

Commençons par calculer la section nette (Sn) en multipliant la surface totale du noyau, égale à 880 millimètres carrés, par le coefficient 0,95 :

880 x 0,95 = 836 mm²

Pour calculer le nombre de spires par volt, nous utilisons la formule indiquée précédemment et, puisque nous ignorons les caractéristiques des lamelles, nous utilisons la valeur de Weber de 1,15 :

0,0444 x 50 x 836 x 1,15 = 2 134

Maintenant, divisons 10 000 par ce nombre :

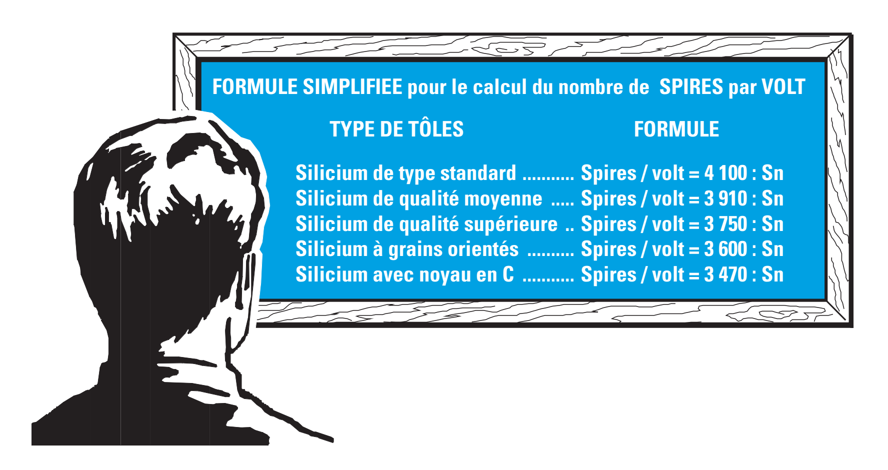
10 000 : 2 134 = 4,686 spires par volt.

Donc, pour réaliser un enroulement primaire capable d'accepter les 220 volts

secteur, nous devrons bobiner le nombre de spires suivant :

4,686 x 220 = 1 030 spires

Puisque les transformateurs sont presque toujours utilisés pour abaisser la tension secteur 220 volts 50 Hz, pour le calcul du nombre de spires par volt, on pourra utiliser les formules données dans le tableau D.



FORMULE SIMPLIFIEE pour le calcul du nombre de SPIRES par VOLT	
TYPE DE TÔLES	FORMULE
Silicium de type standard	Spires / volt = 4 100 : Sn
Silicium de qualité moyenne	Spires / volt = 3 910 : Sn
Silicium de qualité supérieure ..	Spires / volt = 3 750 : Sn
Silicium à grains orientés	Spires / volt = 3 600 : Sn
Silicium avec noyau en C	Spires / volt = 3 470 : Sn

Note : la valeur Sn s'obtient en multipliant la section totale du noyau par 0,95.

A présent, nous voulons vérifier la formule donnée dans le tableau D concernant les tôles de type :

- Silicium qualité moyenne donc Spires / volt = 3 910 : Sn

On obtient environ le même nombre de spires :

3 910 : 836
= 4,677 spires par volt

4,66 x 220 = 1 028 spires

Vous devez considérer qu'une différence d'une spire sur un total de 1 000 spires représente une valeur dérisoire.

Pour connaître le nombre de spires que nous devrons bobiner sur le secondaire afin d'obtenir une tension de 18 volts, nous devons effectuer cette opération :

4,677 x 18 x 1,06 = 89,2 spires

Nous arrondissons ce nombre à 89.

Comme nous l'avons déjà expliqué, la valeur 1,06 sert à compenser les pertes de transfert.

Exemple : En sachant que notre transformateur a une puissance de 47,6 watts, nous voudrons connaître le nombre d'ampères disponibles sur le secondaire débitant 18 volts.

Solution : Pour connaître ce paramètre, nous devons tout simplement diviser la puissance par la tension donc les watts par les volts :

47,6 : 18 = 2,6 ampères

... Et avec des tôles de meilleure qualité ?

Dans les exemples que nous vous avons montrés jusqu'ici, nous avons supposé que les tôles, ayant une section nette de 836 millimètres carrés, avaient une qualité moyenne.

Que ce passerait-il alors si ces lamelles étaient d'une qualité standard ou à grains orientés ?

En faisant référence aux formules simplifiées, nous pouvons calculer les spires par volt pour chaque type de tôles :

Type standard	=	4 100 : 836	=	4,904 spires / volt
Type moyen	=	3 910 : 836	=	4,677 spires / volt
Type super	=	3 750 : 836	=	4,485 spires / volt
Type grains	=	3 600 : 836	=	4,306 spires / volt
Noyau en C	=	3 470 : 836	=	4,150 spires / volt

Donc, pour 220 volts, nous aurons ces différences :

4,904 x 220	=	1 078 spires totales
4,677 x 220	=	1 029 spires totales
4,485 x 220	=	986 spires totales
4,306 x 220	=	947 spires totales
4,150 x 220	=	913 spires totales

Si la tôle était de type standard plutôt que de type moyen, comme nous l'avions supposé, nous aurions bobiné 49 spires en moins et cela aurait entraîné l'inconvénient d'une augmentation de la température du noyau au-delà de la valeur normale.

Si la tôle était de type à grains orientés plutôt que de type moyen, comme nous l'avions supposé, nous aurions bobiné 82 spires en plus, ce qui aurait évité au transformateur de chauffer, même après plusieurs heures de fonctionnement.

Nous vous signalons que la température d'un transformateur est considérée comme normale lorsqu'elle reste comprise entre 40 et 50 degrés après 1 heure de fonctionnement.

Diamètre du fil pour les enroulements

Le diamètre du fil à utiliser pour l'enroulement primaire à relier à la tension secteur 220 volts, doit être calculé en fonction de la puissance en watts du noyau.

En connaissant la puissance en watts, nous devons avant tout calculer le courant maximal en ampères qui doit traverser le fil, en utilisant la formule suivante :

ampères = watts : 220 volts

Ensuite, nous pouvons calculer le diamètre du fil de cuivre en millimètres avec la formule :

$$\text{mm} = 0{,}72 \times \sqrt{\text{ampères}}$$

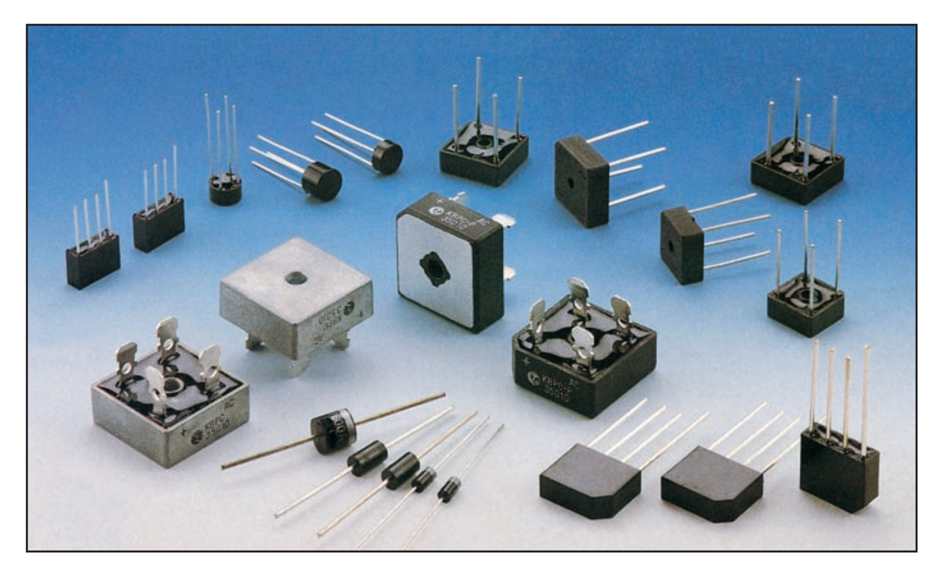
Note : Si le support n'offre pas suffisamment de place pour pouvoir enrouler toutes les spires, vous pouvez remplacer la valeur fixe 0,72 par 0,68 ou 0,65.

Exemple : Nous avons deux transformateurs, l'un de 30 watts et l'autre de 100 watts, et nous voulons connaître le diamètre du fil à utiliser pour l'enroulement primaire des 220 volts.

Solution : Pour connaître le diamètre du fil pour le transformateur de 30 watts, nous calculons la valeur maximale en ampères que le primaire doit absorber pour débiter cette puissance : 30 : 220 = 0,136 ampère. Ensuite, nous pouvons calculer le diamètre du fil :

$$0{,}72 \times \sqrt{0{,}136} = 0{,}26 \text{ millimètre}$$

Pour connaître le fil devant être utilisé pour l'enroulement du transformateur



de 100 watts, calculons rapidement la valeur maximale en ampères que le primaire doit absorber pour débiter cette puissance :

100 : 220 = 0,454 ampère

Ensuite, calculons le diamètre du fil :

$0,72 \times \sqrt{0,454} = 0,48$ millimètre

Comme vous l'aurez remarqué, plus la puissance en watts augmente, plus le diamètre du fil utilisé est important.

De même, le diamètre du fil utilisé pour l'enroulement secondaire doit être calculé en fonction du courant en ampères que l'on désire obtenir.

Si nous avons un transformateur de 30 watts et que sur celui-ci nous voulons bobiner un secondaire capable de fournir une tension de 12 volts, nous pouvons connaître le courant maximum pouvant être prélevé sur ce secondaire grâce à la formule :

watts : volts = ampères

30 : 12 = 2,5 ampères

Si nous utilisons un transformateur de 100 watts, nous pourrons prélever un courant maximum de :

watts : volts = ampères

100 : 12 = 8,33 ampères

En connaissant le courant en ampères, nous pouvons calculer le diamètre du fil à utiliser, grâce à la formule précédemment indiquée :

$0,72 \times \sqrt{2,5} = 1,1$ mm pour les 30 watts

$0,72 \times \sqrt{8,33} = 2$ mm pour les 100 watts

Secondaires en série ou en parallèle

Il est possible de relier en série deux secondaires d'un transformateur afin d'en augmenter la tension, ou de les relier en parallèle pour en augmenter le courant.

En reliant en série deux enroulements débitant 12 volts 1 ampère (voir figure 235), nous pourrons obtenir 12 + 12 = 24 volts sous 1 ampère sur les deux extrémités.

Si les deux enroulements 12 volts 1 ampère étaient reliés en parallèle, on obtiendrait une tension de 12 volts 2 ampères.

Lorsque deux enroulements sont reliés en parallèle, il est absolument nécessaire qu'ils débitent la même tension car, dans le cas contraire, l'enroulement qui débite la tension la plus grande se déchargerait sur l'enroulement débitant une tension inférieure, endommageant ainsi le transformateur.

Quand deux enroulements sont reliés en série, il est important de vérifier que les deux tensions soient de même phase. Dans le cas contraire, les tensions s'annuleront au lieu de s'additionner et on obtiendra 0 volt en sortie (voir figure 236).

En pratique, on obtient le même résultat qu'en reliant en série deux piles sans respecter les polarités positives et négatives des deux bornes (voir leçon 1, figure 40).

Pour mettre en phase deux enroulements reliés en série, le plus simple est de mesurer à l'aide d'un voltmètre la tension présente sur les deux fils opposés. Si aucune tension est mesurée, cela veut dire qu'il suffira d'inverser les fils de l'un des deux enroulements.

Comme pour les piles, nous pouvons aussi relier en série deux tensions différentes, par exemple 12 volts et 18 volts, en obtenant en sortie une tension égale à leur somme, soit, dans notre cas :

12 + 18 = 30 volts

En reliant en série deux enroulements de 12 volts 1 ampère, nous obtiendrons une tension de 24 volts 1 ampère.

En reliant en série deux enroulements, l'un de 12 volts 1 ampère et l'autre de 12 volts 0,5 ampère, nous obtiendrons en sortie une tension de 24 volts mais nous disposerons d'un courant maximum qui ne pourra pas dépasser le courant le plus faible, soit 0,5 ampère.

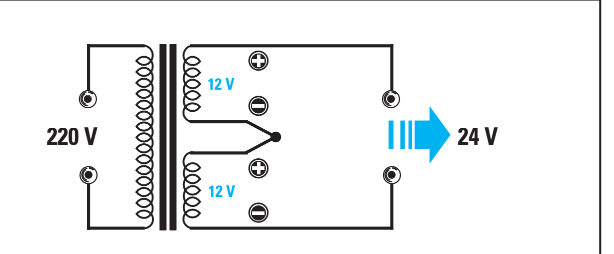


Figure 235 : En reliant en série deux enroulements débitant 12 volts, on obtient en sortie une tension égale à la somme des deux enroulements, c'est-à-dire 24 volts.

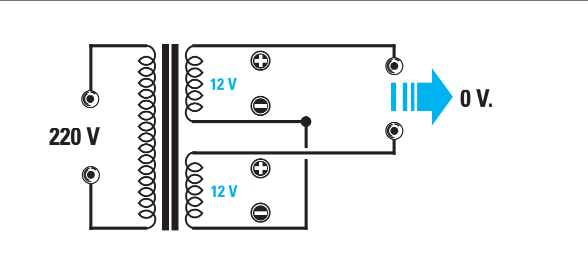


Figure 236 : Si l'on ne respecte pas les "phases" des deux enroulements, on obtient 0 volt en sortie. Pour les remettre en phase, il suffit d'inverser les extrémités d'un seul enroulement.

Comment rendre continue une tension alternative

La tension alternative prélevée sur le secondaire d'un transformateur ne pourra jamais être utilisée pour alimenter les transistors ou les circuits intégrés d'un appareil électronique, car ces composants demandent une tension continue semblable à celle fournie par une pile.

Pour rendre continue une tension alternative, il est nécessaire d'utiliser des diodes de redressement.

Une diode pour redresser une demi-alternance

Une diode reliée en série avec un enroulement secondaire, comme montré sur la figure 237 (remarquez la bague blanche placée sur une seule extrémité du corps), laisse passer seulement les demi-alternances positives de la tension alternative.

Si nous dirigeons la bague blanche vers le secondaire du transformateur, la diode laisse passer les seules demi-alternances négatives de la tension alternative (voir figure 238).

La tension redressée que nous prélevons sur la sortie de ces diodes n'est pas parfaitement continue mais pulsée, c'est-à-dire que la demi-alternance positive bascule d'une valeur minimale de 0 volt à une valeur maximale de 12 volts pour redescendre encore sur 0 volt.

Dans l'intervalle de temps occupé par la demi-alternance négative, la tension en sortie restera égale à 0 volt.

Cette tension pulsée ne peut pas être utilisée telle quelle car, pendant le temps où la tension alternative bascule sur la demi-alternance négative, l'alimentation de l'appareil est interrompue.

Pour éliminer cet inconvénient, on place, sur la sortie de la diode, un condensateur électrolytique ayant une capacité relativement élevée, par exemple 1 000 ou 2 000 microfarads (voir figure 242).

Pendant que la demi-alternance positive sort de la diode, elle alimente les transistors ou les intégrés présents sur le circuit électronique mais charge également le condensateur électrolytique.

Lorsqu'aucune tension ne sort de la diode en raison de la présence de la demi-alternance négative sur sa sortie, le condensateur électrolytique débite la tension qu'il avait accumulée et alimente ainsi les composants électroniques du circuit.

Durant le délai entre les deux demi-alternances positives le condensateur électrolytique a une légère décharge. De ce fait, on ne trouvera pas, en sortie, une tension continue stable mais une tension ondulée (voir figure 242).

Pour que le condensateur électrolytique puisse fournir la tension exacte demandée, même pendant la sortie de la demi-alternance négative, on redresse les deux demi-alternances en utilisant un transformateur avec double enroulement et point milieu (voir figure 239).

Si, sur les extrémités des enroulements A et B d'un transformateur doté d'un secondaire de 12 + 12 volts, on relie deux diodes en dirigeant leurs

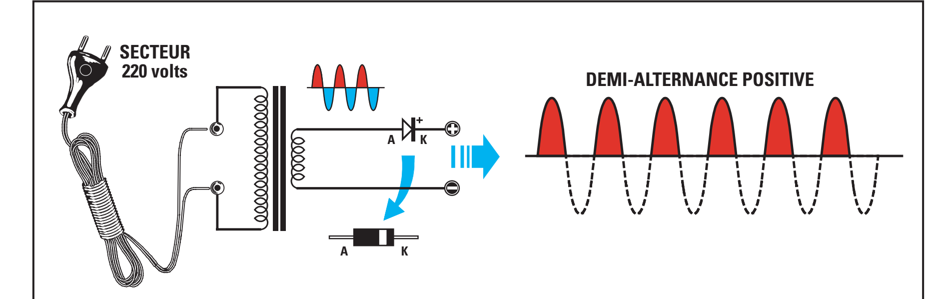


Figure 237 : Si on relie, sur l'enroulement secondaire d'un transformateur, une diode de redressement en disposant sa cathode vers la sortie, on prélèvera sur cette cathode les demi-alternances positives seulement tandis que sur l'extrémité opposée de l'enroulement, on prélèvera les demi-alternances négatives seulement. Cette tension redressée ne peut pas être utilisée directement pour alimenter les circuits électroniques car elle est pulsée. Pour la rendre continue, on devra la stabiliser à l'aide d'un condensateur électrolytique.

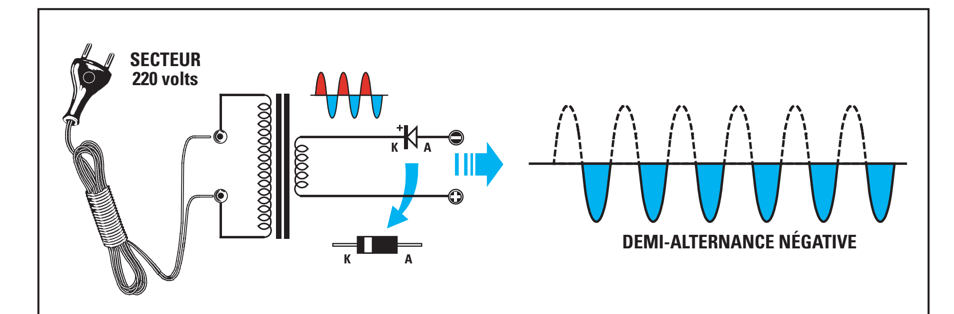


Figure 238 : Si on relie sur l'enroulement secondaire d'un transformateur d'alimentation une diode de redressement en disposant son anode vers la sortie, on prélèvera sur cette anode les demi-alternances négatives seulement tandis que sur l'extrémité opposée de l'enroulement, on prélèvera les demi-alternances positives seulement. Pour rendre une tension pulsée parfaitement continue, on devra relier un condensateur électrolytique sur la sortie (voir figure 242).

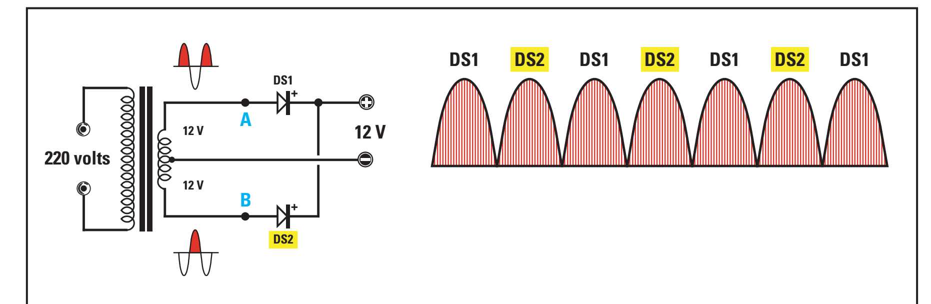


Figure 239 : En utilisant un transformateur avec prise centrale et deux diodes de redressement, la demi-alternance positive présente sur le point A, est redressée par la diode DS1 tandis que lorsqu'elle est présente sur le point B, elle est redressée par la diode DS2.

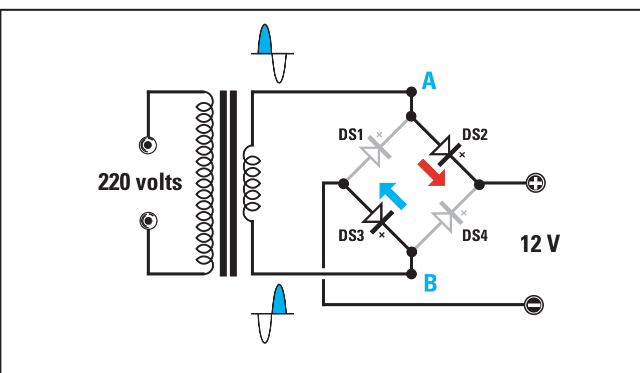


Figure 240 : Pour redresser les deux demi-alternances d'un enroulement dépourvu de prise centrale, on devra utiliser un pont redresseur. Lorsque la demi-alternance positive se trouve sur A et la négative sur B, la tension sera redressée par les deux diodes DS2 et DS3.

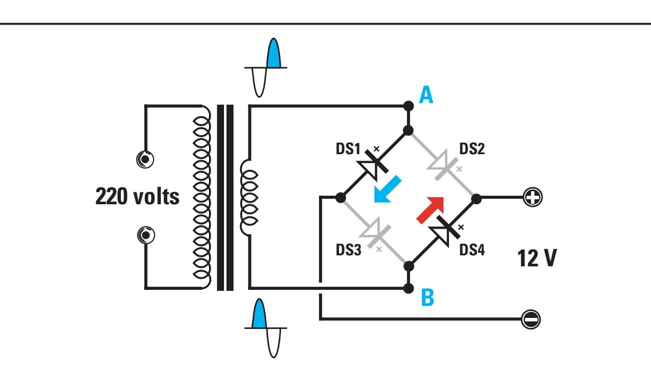


Figure 241 : Lorsque la demi-alternance négative se trouve sur A et la positive sur B, la tension sera redressée par les deux diodes DS1 et DS4. En redressant les deux demi-alternances, la tension que l'on obtiendra sera toujours pulsée mais à 100 Hz et non plus à 50 Hz.

cathodes vers le positif, on y prélèvera une tension continue de 12 volts beaucoup plus stable que celle obtenue en redressant une seule demi-alternance, car on a redressé les deux demi-alternances.

Le circuit fonctionne de la façon suivante : quand une demi-alternance positive est présente sur le point A du transformateur, la demi-alternance négative est présente sur le point opposé B et vice-versa (voir figure 239).

Lorsque la demi-alternance positive est présente sur le point A, la diode DS1 fournit la tension d'alimentation à l'appareil. La demi-alternance négative étant présente sur le point B, la diode DS2 reste inactive. Lorsque la demi-alternance négative est présente sur le point A du transformateur, la diode DS1 reste inactive et puisque la demi-alternance positive est présente sur le point opposé B, la diode DS2 alimente l'appareil.

En redressant les deux demi-alternances, nous éliminerons le délai de la demi-alternance négative comme c'est le cas sur la figure 237. En effet, avec deux diodes et un transformateur à point milieu, nous parvenons à redresser les deux demi-alternances (voir figure 239).

En redressant les deux demi-alternances, la fréquence de charge du condensateur électrolytique placé sur la sortie ne sera plus de 50 Hz mais bien de 100 Hz.

En chargeant le condensateur électrolytique dans un laps de temps réduit de moitié (voir figure 242 et 243), il sera capable de restituer la tension accumulée sans jamais descendre en dessous de la valeur demandée. La tension que nous obtiendrons en sortie sera donc beaucoup plus stable.

Il est possible de redresser les deux demi-alternances sans utiliser un transformateur à double enroulement de 12 + 12 volts, mais en reliant en pont 4 diodes comme montré sur la figure 240. Quand la demi-alternance positive est présente sur le point A du transformateur et celle négative sur le point B :

- la diode DS2 redresse la demi-alternance positive,

- la diode DS3 redresse la demi-alternance négative.

Quand la demi-alternance négative est présente sur le point A du transformateur et la positive sur le point B :

- la diode DS1 redresse la demi-alternance négative,

- la diode DS4 redresse la demi-alternance positive.

Ces 4 diodes se trouvent dans le commerce déjà incluses dans un boîtier plastique appelé “pont redresseur”,

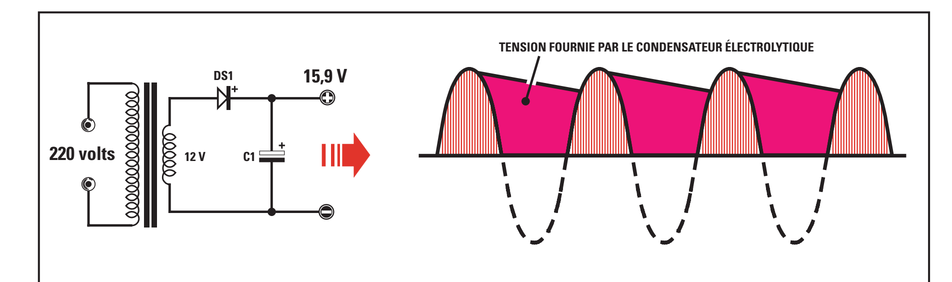


Figure 242 : En reliant un condensateur électrolytique de bonne valeur sur la sortie d'une diode de redressement, on parvient à rendre parfaitement “continue” n'importe quelle tension pulsée. En effet, pendant que la diode redresse les demi-alternances positives, le condensateur électrolytique accumule cette tension positive pour la restituer lorsque la diode est inactive. La tension aux bornes du condensateur a toujours une valeur supérieure à la tension alternative appliquée sur la diode.

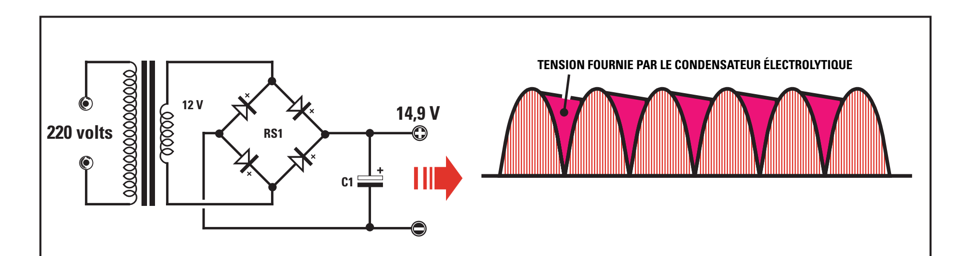


Figure 243 : En utilisant un “pont redresseur”, on obtient une tension redressée pulsée de 100 Hz et de cette façon, nous éliminons le délai occupé par les demi-alternances négatives. Etant donné que le condensateur électrolytique relié au pont doit restituer la tension accumulée pendant un délai inférieur par rapport à une tension pulsée redressée par une seule diode (voir figure 242), la tension continue sera beaucoup plus stable.

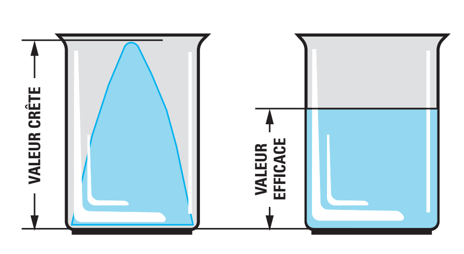


Figure 244 : En mesurant une tension alternative à l'aide d'un multimètre, on relève la seule valeur "efficace", et non la valeur "crête" de la demi-alternance. Une tension "efficace" de 12 volts correspond à une tension "crête" de 12 x 1,41 = 16,92 volts.
On peut comparer les volts "crête" à la hauteur maximale d'un cône de glace. Si on fait fondre ce cône dans un récipient, on obtient une hauteur nettement inférieure, équivalente, en pratique, aux volts "efficaces".

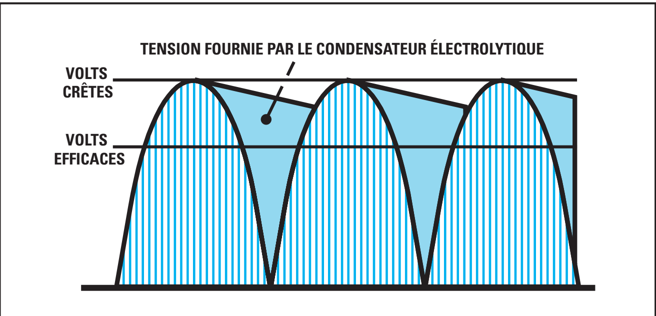


Figure 245 : Un condensateur électrolytique relié sur la sortie d'une diode ou d'un pont redresseur se charge toujours sur la tension "crête" de la demi-alternance alternative. Cette tension accumulée est restituée par le condensateur pour alimenter le circuit pendant que la demi-alternance positive reste à 0 volt. Pour cette raison, la tension "continue" aux bornes du condensateur électrolytique reste toujours 1,41 fois supérieure à la tension "efficace".

doté de 4 broches (voir la photo d'illustration et la figure 246).

Les deux broches indiquées avec le symbole "~" de la tension alternative, doivent être reliées aux points A et B du transformateur.

Sur la broche indiquée avec le symbole "+", on prélève la tension positive, tandis que sur celle indiquée avec le symbole "–", on prélève la tension négative.

Si, par erreur, nous invertissons les 4 broches, sur la sortie du pont redresseur nous n'obtiendrons aucune tension.

Tous les ponts redresseurs sont construits pour accepter, sur leurs entrées, une valeur de tension alternative déterminée et pour fournir, en sortie, un courant de valeur déterminée.

Si nous disposons d'un pont redresseur de 100 volts 1 ampère, nous pouvons appliquer sur son entrée une valeur de tension alternative allant jusqu'à 100 volts maximum et nous pourrons prélever sur sa sortie un courant maximum de 1 ampère.

Sur l'entrée d'un pont redresseur de 100 volts nous pourrons appliquer des tensions alternatives de 5, 10, 25, 50, 70, 90 et 100 volts par exemple, mais jamais de 110 volts et nous pourrons prélever sur sa sortie des courants de 0,1, 0,3, 0,8 et 1 ampère par exemple, mais pas des courants supérieurs à 1 ampère.

Sur l'entrée d'un pont redresseur de 50 volts 15 ampères, nous pouvons appliquer une tension alternative quelconque, pourvu qu'elle ne dépasse pas les 50 volts et sur sa sortie nous pouvons prélever un courant maximum de 15 ampères mais pas plus.

Utile à savoir

Une diode de redressement provoque une chute de tension d'environ 0,7 volt.

C'est pourquoi, en appliquant sur son entrée une tension alternative de 12 volts, nous ne retrouverons sur sa sortie qu'une tension de :

12 – 0,7 = 11,3 volts

Un pont redresseur provoque une chute de 1,4 volt parce qu'il inclut deux diodes, l'une redressant les demi-alternances positives et l'autre les négatives.

En appliquant donc sur l'entrée du pont une tension alternative de 12 volts, nous n'obtiendrons sur sa sortie qu'une tension de :

12 – 1,4 = 10,6 volts

Si l'on mesure la tension aux bornes du condensateur électrolytique relié sur la tension redressée, nous serons étonnés de remarquer que la tension n'aura pas une valeur de 11,3 volts ou de 10,6 volts mais qu'elle sera de :

15,9 volts ou de 14,9 volts

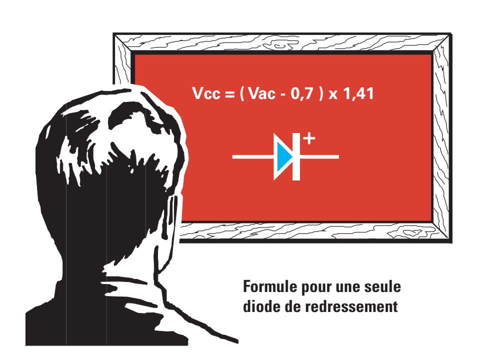
c'est-à-dire une valeur de tension supérieure à celle appliquée sur ses entrées.

La raison de cette augmentation de la tension est que la tension alternative atteint une pointe de 1,41 fois supérieure à la valeur de la tension efficace.

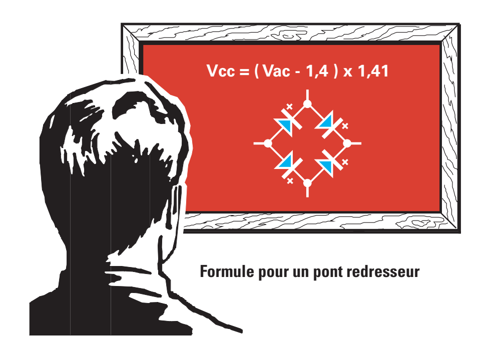
Pour mieux comprendre la différence entre la tension crête et la tension efficace, donc les volts crêtes et les volts efficaces, nous pouvons considérer la tension efficace comme la surface totale d'une demi-alternance (voir figure 144).

Le condensateur électrolytique ne se charge pas sur la valeur de la tension efficace mais sur la valeur crête (voir figure 245) et, pour cette raison, on obtient une tension supérieure.

Pour calculer la valeur de la tension réelle présente aux bornes du condensateur électrolytique, on devra d'abord savoir si l'on utilise une diode de redressement ou un pont redresseur et ensuite, utiliser les deux formules suivantes :



Dans laquelle :
- **Vcc** est la tension en volts courant continu aux bornes du condensateur,
- **Vac** est la tension en volts efficaces de la tension alternative,
- **0,7** est la chute de tension de la diode,
- **1,41** est une valeur fixe pour obtenir les volts crête.



Dans laquelle :
- **Vcc** est la tension en volts courant continu aux bornes du condensateur,
- **Vac** est la tension en volts efficaces de la tension alternative,
- **1,4** est la chute de tension dans le pont de diodes,
- **1,41** est une valeur fixe pour obtenir les volts crête.

En redressant une tension alternative de 12 volts avec une seule diode de redressement, on obtiendra une tension continue qui atteindra une valeur de :

(12 – 0,7) x 1,41 = 15,9 volts

En redressant une tension alternative de 12 volts avec un pont redresseur, on obtiendra une tension continue qui atteindra une valeur de :

(12 – 1,4) x 1,41 = 14,9 volts

C'est pourquoi, indépendamment de la tension alternative à redresser, nous retrouverons sur les bornes du condensateur électrolytique une tension toujours égale à la tension appliquée sur l'entrée moins la chute de tension dans les diodes de redressement, multipliée par 1,41.

Si on utilise les schémas des figures 237 et 239, on devra soustraire 0,7 volt, tandis qu'avec le schéma de la figure 243, utilisant le pont redresseur, on devra soustraire 1,41 volt.

La capacité du condensateur électrolytique

La capacité minimale, en microfarad, du condensateur électrolytique placé à la suite d'une diode de redressement ou un pont redresseur, ne doit jamais être choisie au hasard mais en fonction du courant maximum absorbé par l'appareil, de façon à réduire au minimum le bruit parasite de la tension alternative.

Si l'on redresse une tension alternative avec une seule diode de redressement (voir figure 242), on peut utiliser cette formule :

microfarads (µF)
= 40 000 : (volts : ampères)

Si l'on redresse une tension alternative avec un pont redresseur (voir figure 243), on peut utiliser cette autre formule :

microfards (µF)
= 20 000 : (volts : ampères)

Exemple : Nous avons réalisé une alimentation qui débite 12 volts sous 1,3 ampère et nous voudrons connaître la valeur de la capacité du condensateur électrolytique dans le cas où nous utilisions une seule diode de redressement ou un pont redresseur.

Solution : Avec une seule diode de redressement, nous devons utiliser un condensateur électrolytique ayant une capacité d'environ :

40 000 : (12 : 1,3)
= 4 333 microfarads

Etant donné que cette valeur n'est pas une valeur standard, nous utiliserons une capacité d'une valeur supérieure, c'est-à-dire de 4 700 microfarads, ou nous pourrons relier en parallèle deux condensateurs de 2 200 microfarads.

Avec un pont redresseur, nous devons utiliser un condensateur électrolytique qui ait une capacité d'environ :

20 000 : (12 : 1,3)
= 2 166 microfarads

Etant donné que cette valeur n'est pas une valeur standard, nous utiliserons une capacité d'une valeur plus élevée, c'est-à-dire de 2 200 microfarads.

Nous vous déconseillons d'utiliser des valeurs de capacité inférieures à celles résultant de l'utilisation des formules que nous vous avons données. En effet, dans les appareils qui amplifient les signaux audio, comme les amplificateurs, les récepteurs, etc., vous retrouveriez un bruit de fond généré par les résidus mal filtrés de la tension alternative.

◆ **G. M.**

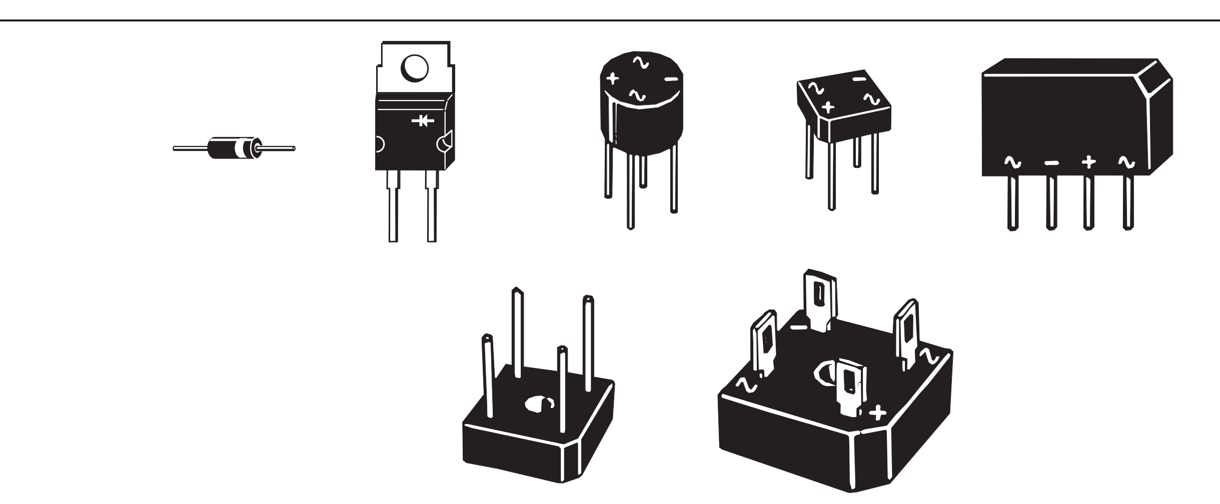


Figure 246 : Voici comment se présentent les diodes de redressement et les ponts redresseurs.
Les diodes de redressement et les ponts redresseurs sont conçus pour accepter sur leurs entrées des tensions pouvant aller de quelques volts à plusieurs milliers de volts et pour pouvoir débiter des courants allant de quelques ampères à plusieurs dizaines d'ampères.
Leur taille est généralement proportionnelle au courant qu'ils sont en mesure de débiter. Le voltage n'a qu'une faible influence sur leur taille. De ce fait, il est impératif de connaître les caractéristiques d'une diode ou d'un pont redresseur avant de l'utiliser dans une alimentation. Si le "surdimensionnement" est sans risque, le "sousdimensionnement" sera toujours catastrophique !

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Le physicien allemand Georg Simon Ohm (1789-1854), Directeur de l'Ecole Polytechnique de Nuremberg, découvrit, pendant ses travaux que :

"L'intensité d'un courant qui parcourt un circuit est directement proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance du conducteur."

En d'autres termes, la Loi d'Ohm dit que : dans un conducteur, le courant augmente avec l'augmentation de la tension et diminue avec l'augmentation de la valeur de la résistance du conducteur.

Les formules qui en découlent sont donc indispensables pour résoudre de nombreux problèmes dans le domaine de l'électronique.

En effet, une fois établis les rapports liant volt, ampère, ohm et watt, il suffit de connaître seulement deux grandeurs pour calculer l'inconnue.

Dans cette leçon, nous énumérons toutes les formules de la Loi d'Ohm, très utiles pour résoudre les problèmes qui se présentent tous les jours à l'électronicien.

Même si nombre d'entre-vous connaissent l'existence de cette loi, rares sont ceux qui savent l'appliquer correctement car dans les textes on ne trouve en général que la formule de base, sans son indispensable cortège d'exemples pratiques. C'est pour cette raison que les débutants se trouvent souvent en difficulté, surtout si les valeurs qu'ils ont à prendre en compte sont des multiples ou sous-multiples de volts, d'ampères ou de watts.

Les tableaux préparés pour cette leçon indiquent les formules de la Loi d'Ohm avec multiples et sous-multiples. En outre, vous trouverez beaucoup d'exemples qui vous aideront à comprendre comment faire pour résoudre différents problèmes.

Après la Loi d'Ohm, suivra un chapitre consacré à la réactance, grâce auquel vous découvrirez qu'une capacité et une inductance, lorsqu'elles sont traversées par une tension alternative, se comportent comme des résistances dont la valeur ohmique varie en fonction de la fréquence.

Vous aurez, là aussi, de nombreux exemples qui vous permettront de comprendre où et comment exploiter cette caractéristique pour en tirer des avantages pratiques.

Dans les tableaux de cette leçon, vous trouverez toutes les formules ainsi que différents exemples de calcul qui vous permettront de résoudre tous les problèmes que l'on rencontre dans le domaine pratique.

La Loi d'Ohm par l'exemple

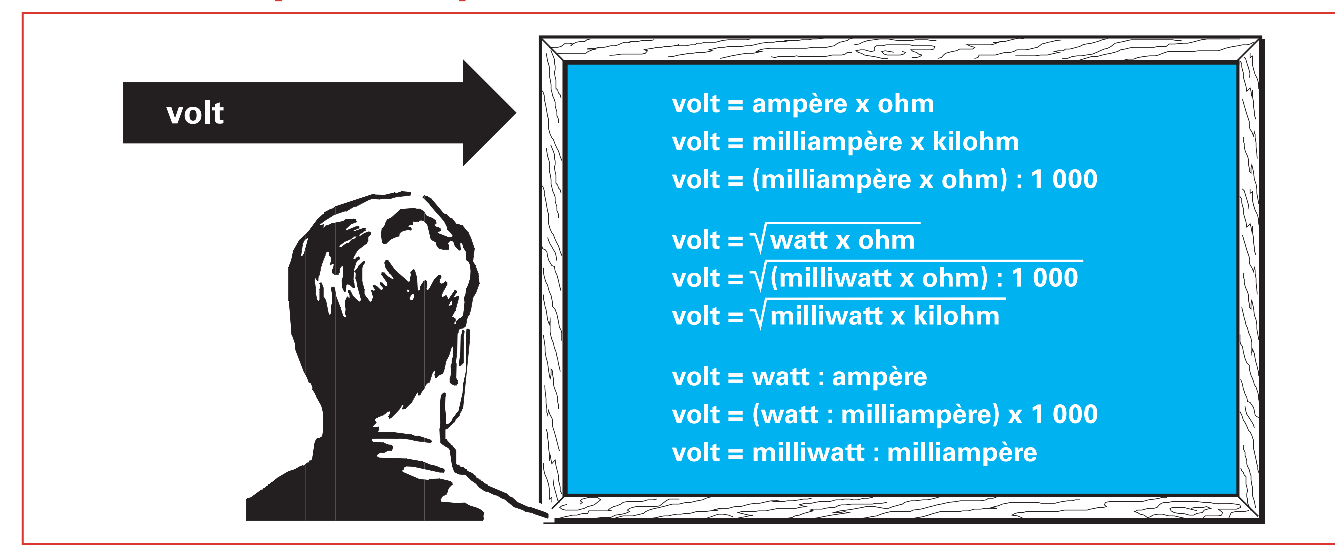
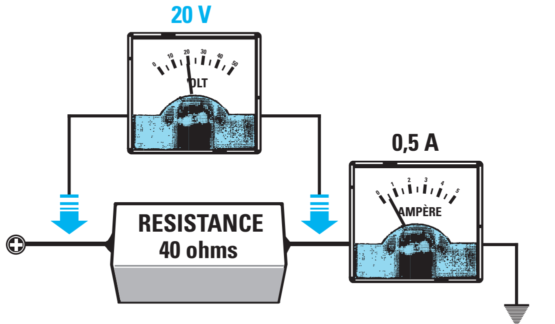


Figure 247 : Comment calculer la tension se trouvant aux bornes d'une résistance en connaissant le courant qui la traverse.

Sachant que dans une résistance de 40 ohms passe un courant de 0,5 ampère, on voudrait connaître la tension présente aux broches de cette résistance.



Solution : pour trouver cette valeur, il faut utiliser cette formule :

volt = ampère x ohm

On obtiendra donc une tension de :

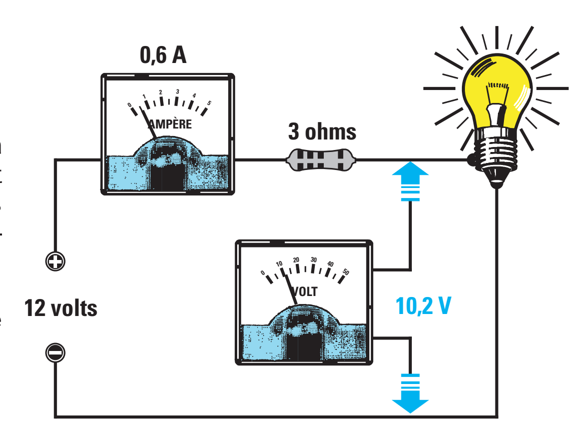
40 x 0,5 = 20 volts

Figure 248 : Comment calculer la chute de tension d'une résistance.

Comment faire pour connaître la chute de tension obtenue en reliant en série une résistance de 3 ohms à une ampoule de 12 volts absorbant 0,6 ampère ?

Solution : pour connaître la chute de tension, on utilise cette formule :

volt = ampère x ohm



Donc, si la résistance de 3 ohms est parcourue par un courant de 0,6 ampère, on obtient :

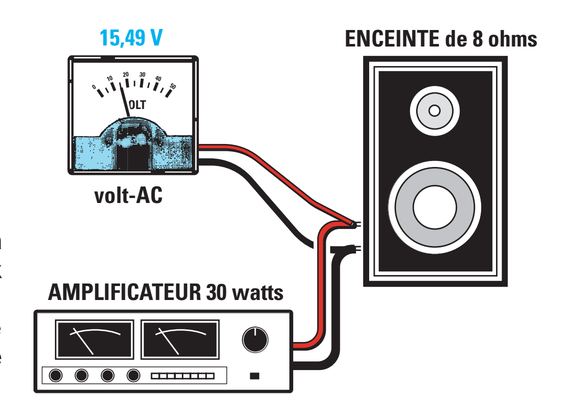
3 x 0,6 = 1,8 volt

L'ampoule, avec cette valeur de résistance placée en série n'est plus alimentée avec 12 volts, mais avec une tension de seulement :

12 – 1,8 = 10,2 volts

Figure 249 : Comment calculer la tension efficace sur l'entrée d'une enceinte acoustique.

Comment faire pour connaître la tension efficace parvenant aux haut-parleurs lorsque l'on a un amplificateur hi-fi d'une puissance de 30 watts efficaces qui pilote une enceinte de 8 ohms ?



Solution : pour connaître la valeur de la tension efficace, on utilise cette formule :

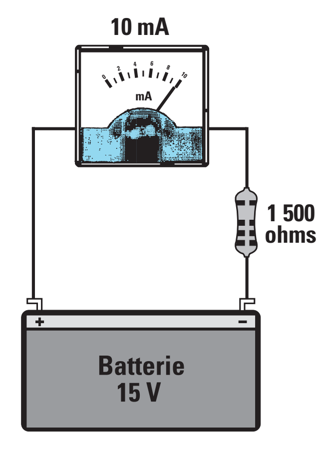
volt = $\sqrt{\text{watt x ohm}}$

donc, dans le haut-parleur parviendront :

$\sqrt{30 \times 8}$ = 15,49 volts efficaces

Figure 250 : Comment calculer la tension à appliquer à un milliampèremètre.

Comment faire pour connaître la tension que l'on doit appliquer aux bornes d'un milliampèremètre de 10 mA, auquel on a relié en série une résistance de 1 500 ohms afin de pouvoir le transformer en voltmètre, pour faire dévier son aiguille à fond d'échelle ?



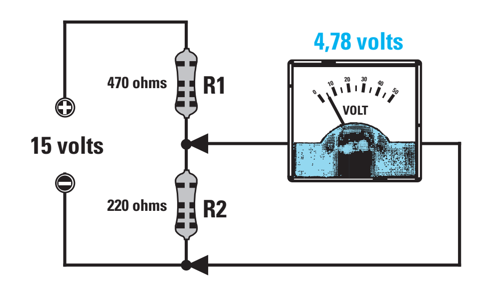
Solution : pour connaître la valeur de cette tension, on utilise cette formule :

volt = (mA x ohm) : 1 000

En reliant en série sur l'instrument de mesure une résistance de 1 500 ohms, l'aiguille ira à fond d'échelle avec une tension de :

(10 x 1 500) : 1 000 = 15 volts

Figure 251 : Comment calculer la tension présente dans un pont de résistances.



On relie une tension de 15 volts aux bornes de deux résistances : R1 de 470 ohms et R2 de 220 ohms.

Comment faire pour connaître la tension présente aux bornes de R2 ?

Solution : pour connaître cette valeur, on doit tout d'abord faire la somme des deux résistances :

470 + 220 = 690 ohms

Puis, calculer la valeur du courant présent sur 690 ohms avec 15 volts, en utilisant la formule suivante :

ampère = volt : ohm

15 : 690 = 0,02173 ampère

Nous pouvons alors enfin calculer la chute de tension dans la résistance R2 de 220 ohms, grâce à la formule :

volt = ampère x ohm

0,02173 x 220 = 4,78 volts

On pourra donc lire aux bornes de la résistance R2, une tension de 4,78 volts.

La valeur de la tension présente aux bornes des résistances R2 ou R1 peut également se calculer grâce à cette formule simplifiée :

volt sur R2 = [volts alimentation : (R1 + R2)] x R2

volt sur R1 = [volts alimentation : (R1 + R2)] x R1

Les valeurs des résistances R1 et R2 peuvent être insérées dans les formules en ohms, kilohms ou mégohms.

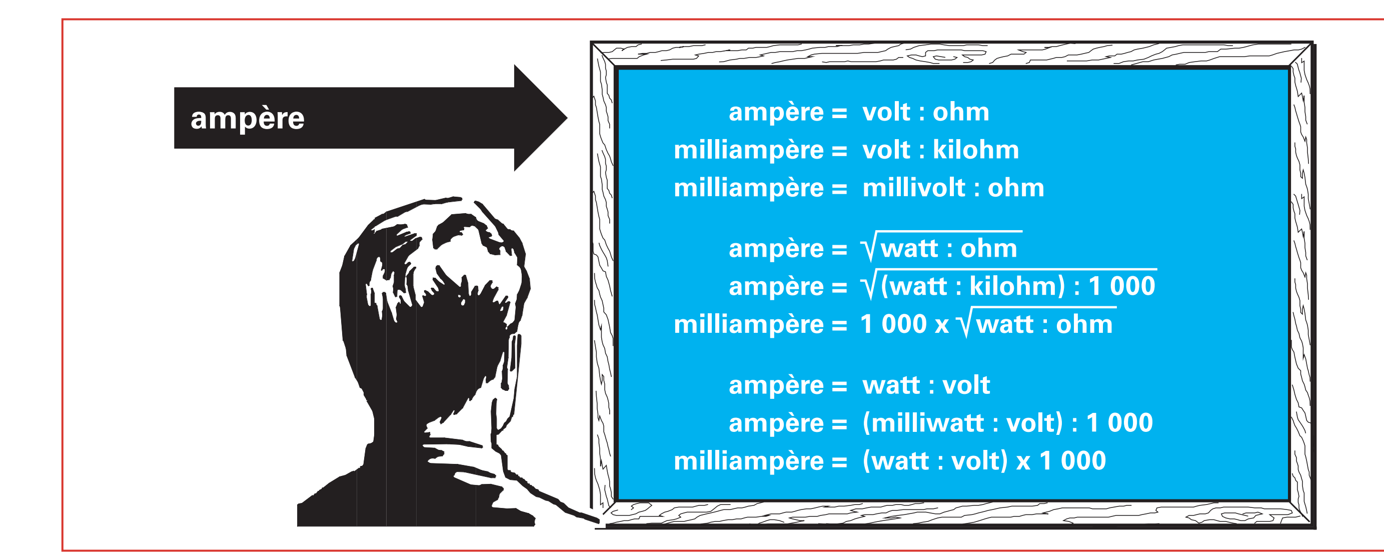
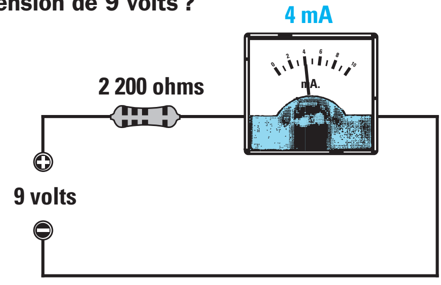


Figure 252 : Comment faire pour connaître la valeur du courant absorbé par une résistance de 2,2 kilohms reliée à une tension de 9 volts ?



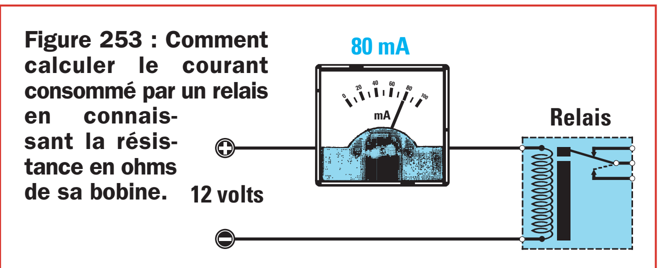
Solution : pour calculer la valeur du courant absorbé par la résistance, on peut utiliser la formule suivante :

milliampère = volt : kilohm

donc, cette résistance est parcourue par un courant de :

9 : 2,2 = 4 milliampères

Figure 253 : Comment calculer le courant consommé par un relais en connaissant la résistance en ohms de sa bobine.



Comment faire pour connaître la valeur du courant absorbé par un relais dont la bobine d'excitation a une résistance ohmique de 150 ohms et que l'on alimente avec une tension de 12 volts ?

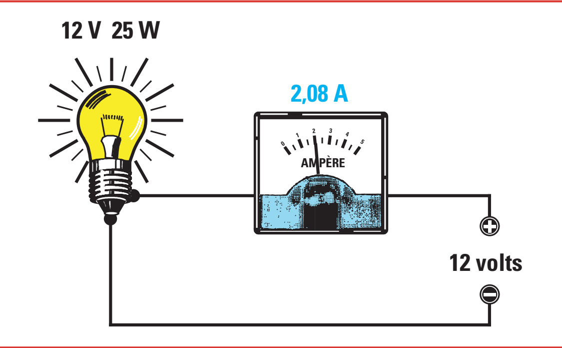
Solution : pour calculer la consommation en ampères de ce relais, on doit utiliser cette formule :

ampère = volt : ohm   12 : 150 = 0,08 ampère

Le relais absorbe un courant de 0,08 ampère, ce qui correspond à 80 milliampères.

Figure 254 : Comment calculer le courant consommé par une ampoule, en connaissant sa puissance en watts.

Comment faire pour savoir combien d'ampères sont absorbés par une ampoule de 12 volts - 25 watts ?



Solution : pour calculer la valeur du courant absorbé par cette ampoule, on utilise cette formule :

ampère = watt : volt

25 : 12 = 2,08 ampères

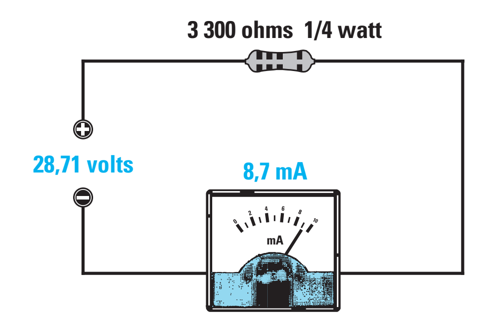
Cette ampoule absorbe donc 2,08 ampères.

Figure 255 : Comment calculer la valeur maximale du courant pouvant parcourir une résistance.

Comment faire pour connaître la valeur maximale du courant pouvant passer à travers une résistance de 3 300 ohms 1/4 de watt, sans la griller ?

Solution : pour calculer la valeur maximale du courant que cette résistance peut supporter sans être endommagée, on utilise cette formule :

ampère = $\sqrt{\text{watt : ohm}}$



mais on doit avant tout savoir à quoi correspond 1/4 de watt :

1 : 4 = 0,25 watt

On peut à présent insérer 0,25 dans la formule :

$\sqrt{0{,}25 : 3\,300}$ = 0,0087 ampère

Pour savoir à combien de milliampères cela correspond, il suffit de multiplier les ampères par 1 000 :

0,0087 x 1 000 = 8,7 milliampères

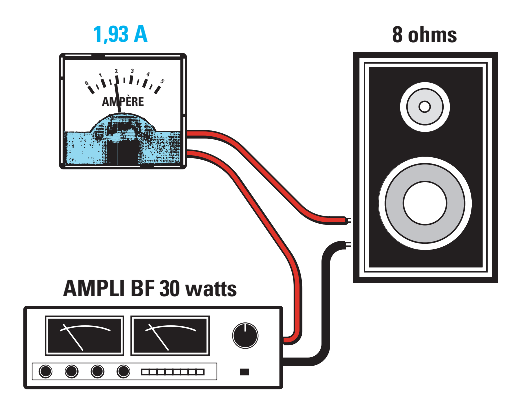
Si on voulait connaître la tension maximale pouvant être appliquée sur les broches de cette résistance, il faudrait utiliser cette formule :

0,0087 x 3 300 = 28,71 volts

Figure 256 : Comment calculer l'intensité sur l'entrée d'une enceinte acoustique.

Comment faire pour connaître le courant R.M.S. parvenant sur les haut-parleurs d'une enceinte de 8 ohms alimentée par un amplificateur hi-fi de 30 watts R.M.S. ?

(R.M.S. = Root Mean Square = valeur efficace)



Solution : pour connaître la valeur de ce courant, on peut utiliser cette formule :

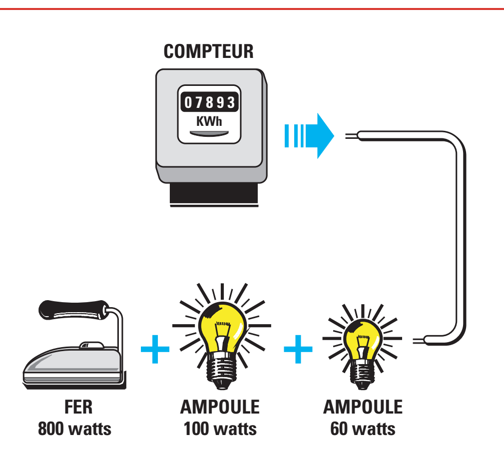
ampère = $\sqrt{\text{watt : ohm}}$

$\sqrt{30 : 8}$ = 1,93 ampère

Pour alimenter cette enceinte acoustique, on doit utiliser un fil conducteur capable de supporter un courant de 2 ampères.

Figure 257 : Comment calculer la consommation sur le secteur 220 volts.

Comment faire pour connaître la valeur du courant que nous prélevons de notre ligne 220 volts lorsqu'on branche un fer à repasser de 800 watts plus une ampoule de 100 watts et une autre de 60 watts ?



Solution : pour commencer, on additionne les watts absorbés par le fer à repasser et par les deux ampoules :

800 + 100 + 60 = 960 watts au total,

puis on calcule les ampères en utilisant la formule :

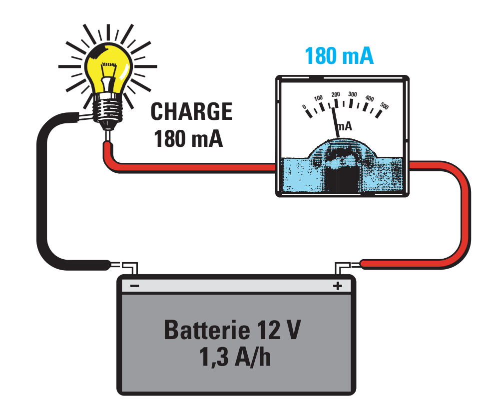
ampère = watt : volt

960 : 220 = 4,36 ampères

Figure 258 : Comment calculer la capacité des piles rechargeables.

Comment faire pour savoir après combien d'heures une pile de 12 volts 1,3 Ah se décharge, si on l'utilise pour alimenter un circuit absorbant un courant d'une valeur de 180 milliampères ?

Solution : pour savoir en combien d'heures se décharge cette pile, on doit convertir les 180 mA en ampères, en les divisant par 1 000 :



180 : 1 000 = 0,18 ampère

on doit ensuite diviser 1,3 Ah par 0,18 ampère :

1,3 : 0,18 = 7,22 heures

Le nombre décimal 22 ne correspond pas aux minutes, mais aux centièmes d'heure. Pour connaître les minutes, on doit diviser 60 minutes par 100 puis multiplier le résultat par 22 :

(60 : 100) x 22 = 13 minutes

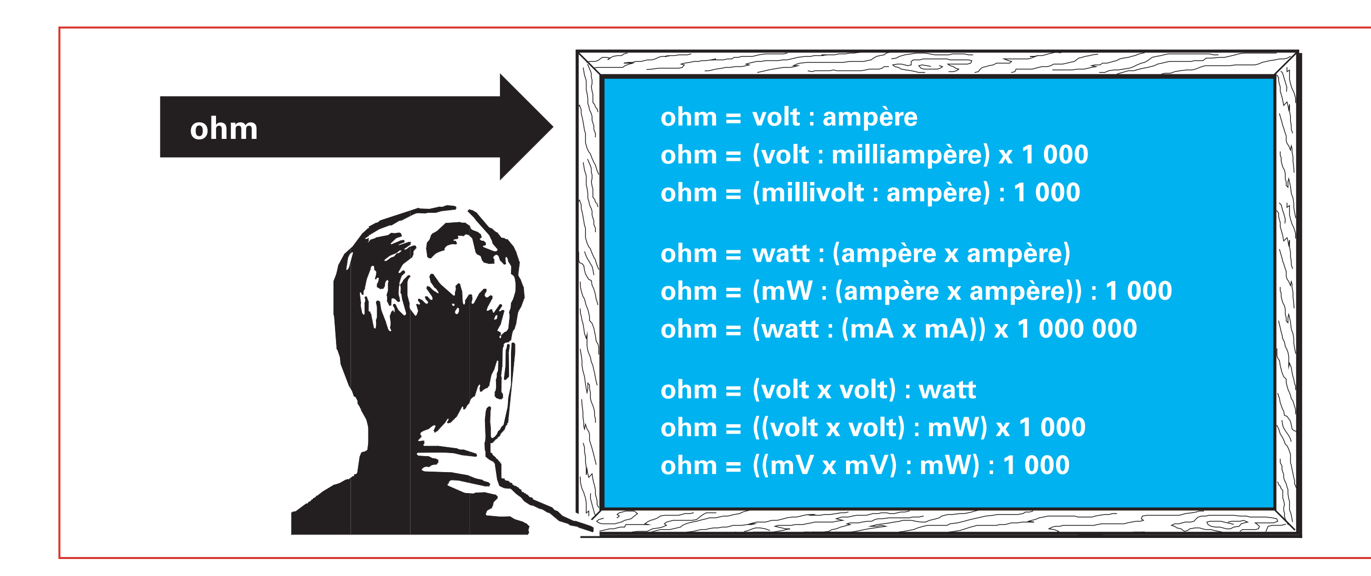
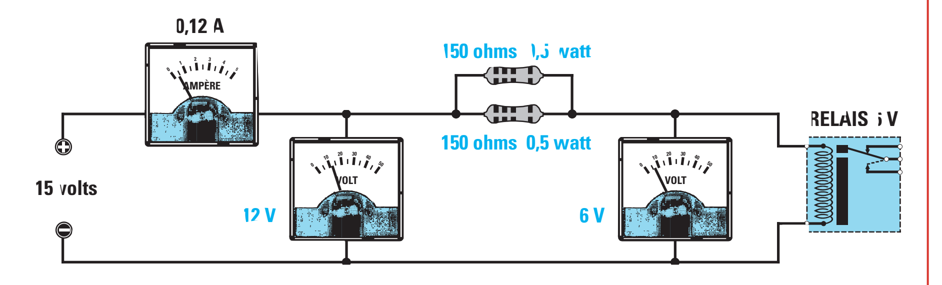


Figure 259 : Comment calculer la valeur d'une résistance pour réduire une tension.



Comment savoir quelle résistance relier en série à un relais de 6 volts pour pouvoir abaisser la tension de 15 volts utilisée pour l'alimenter sous 6 volts ?

Solution : pour commencer, il faut calculer la valeur de tension à faire chuter pour passer de 15 volts à 6 volts.

15 – 6 = 9 volts,

puis il faut mesurer la valeur ohmique de la bobine du relais et, en admettant que le résultat obtenu est 50 ohms, il faut calculer la valeur du courant absorbé, en utilisant la formule :

ampère = volt : ohm

on saura ainsi qu'il absorbe :

6 : 50 = 0,12 ampère,

connaissant le nombre d'ampères qui doivent s'écouler dans la bobine, on peut calculer la valeur de la résistance pour obtenir une chute de 9 volts, en utilisant la formule :

ohm = volt : ampère
9 : 0,12 = 75 ohms

Etant donné que 75 ohms ne correspondent pas à une valeur standard, on peut relier en parallèle deux résistances de 150 ohms, comme nous l'avons déjà vu dans la leçon numéro 2.

Pour connaître la puissance en watt que devra avoir cette résistance, on utilise la formule suivante :

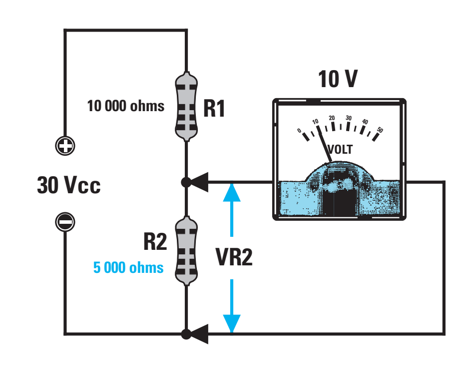
watt = volt x ampère
9 x 0,12 = 1,08 watt

Etant donné que nous avons relié deux résistances de 150 ohms en parallèle, elles devront pouvoir supporter chacune au moins la moitié de la puissance, comme nous le démontre également cette formule :

watt = (volt x volt) : ohm
(9 x 9) : 150 = 0,54 watt

Deux résistances de 150 ohms d'une puissance de 0,5 watt, c'est-à-dire de 1/2 watt, sont donc nécessaires.

Figure 260 : Comment calculer la valeur de R2 dans un pont pour connaître la tension à ses bornes.



On veut réaliser un pont de résistances en mesure d'abaisser une tension de 30 volts à 10 volts seulement. Comment faire pour connaître la valeur de la résistance de R2, sachant que celle de la résistance R1 est de 10 000 ohms ?

Solution : pour calculer la valeur ohmique de la résistance R2, on peut utiliser cette formule :

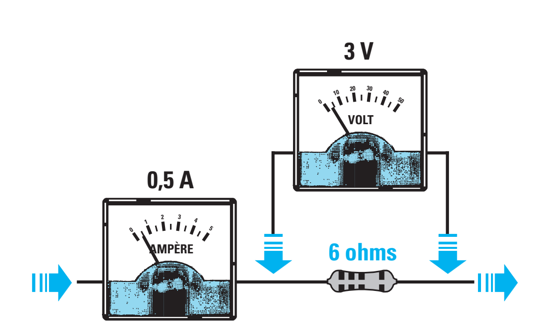
ohm R2 =
[R1 : (Vcc – volt sur R2)]
x volt sur R2

on obtiendra donc :

10 000 : (30 – 10)] x 10
= 5 000 ohms

Etant donné que 5 000 ohms ne correspondent pas à une valeur standard, on peut relier en parallèle deux résistances de 10 000 ohms, et obtenir ainsi 5 000 ohms.

Figure 261 : Comment calculer la valeur d'une résistance, en connaissant la chute de tension à ses bornes.



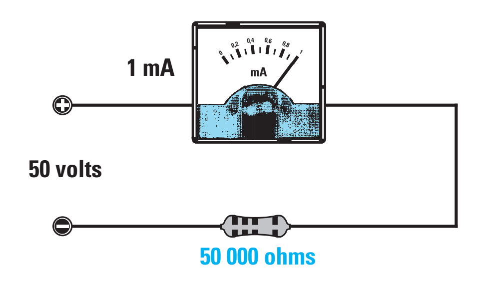
Ayant relié en série une résistance d'une valeur inconnue à un circuit absorbant un courant de 0,5 ampère et étant donné que l'on trouve sur ses bornes une tension de 3 volts, comment faire pour connaître sa valeur ohmique exacte ?

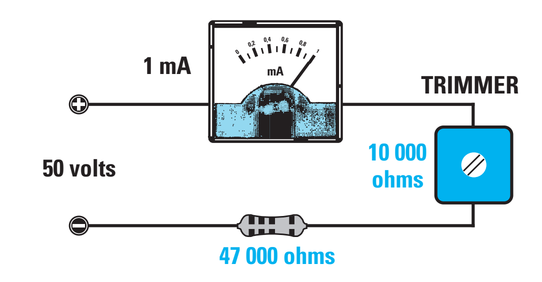
Solution : pour connaître la valeur de la résistance reliée en série, on peut utiliser la formule :

ohm = volt : ampère

3 : 0,5 = 6 ohms

Figure 262 : Comment transformer un milliampèremètre en voltmètre.





Disposant d'un instrument de mesure de 1 milliampère à fond d'échelle, comment faire pour le transformer en un voltmètre permettant de lire une tension maximale de 50 volts à fond d'échelle 10 000 ? Quelle résistance faut-il lui relier en série ?

Solution : pour calculer la valeur de cette résistance, on peut utiliser la formule suivante :

ohm = (volt : mA) x 1 000

(50 : 1) x 1 000
= 50 000 ohms

Etant donné que dans ce calcul on ne tient pas compte de la résistance interne de l'instrument, la valeur à appliquer en série sera toujours inférieure aux 50 000 ohms calculés.

Pour amener l'aiguille à fond d'échelle avec une tension de 50 volts, il est conseillé de choisir une valeur standard inférieure à 50 000 ohms, par exemple 47 000 ohms et, ensuite, de relier en série à cette résistance un trimmer de 10 000 ohms qui servira au calibrage du fond d'échelle.

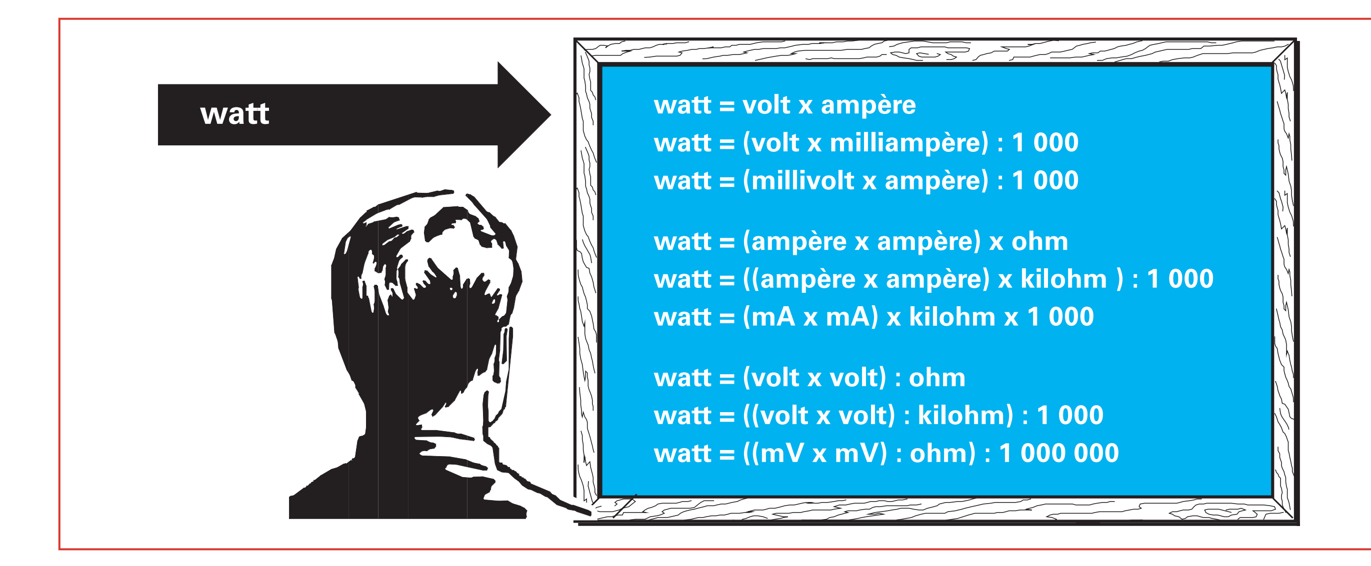
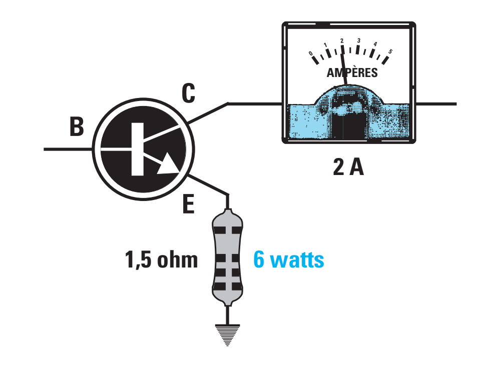


Figure 263 : Comment calculer la puissance d'une résistance en connaissant le courant qui la parcourt.

On veut relier une résistance de 1,5 ohm sur l'émetteur d'un transistor qui absorbe un courant de 2 ampères. Comment faire pour connaître la puissance en watts de cette résistance ?



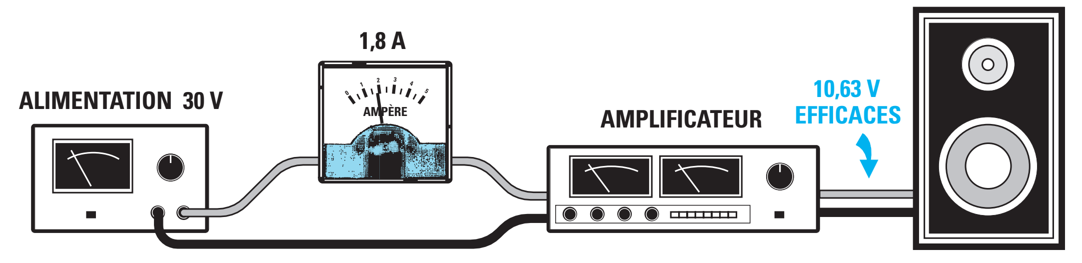
Solution : pour calculer la puissance en watts de cette résistance, il faut utiliser cette formule :

watt =
(ampère x ampère) x ohm

On obtient donc :

(2 x 2) x 1,5 = 6 watts

Figure 264 : Comment calculer la puissance d'un amplificateur, connaissant volts et ampères.



Ayant un amplificateur hi-fi alimenté avec une tension de 30 volts et absorbant, à la puissance maximale, un courant de 1,8 ampère, comment faire pour savoir combien de watts sonores on peut en obtenir ?

Solution : étant donné que dans l'enceinte entre un signal de basse fréquence alternatif, dont l'amplitude ne pourra jamais dépasser la valeur de la tension d'alimentation de 30 volts, pour obtenir les volts efficaces, on doit diviser cette valeur par 2,82 :

30 : 2,82 = 10,63 volts efficaces

On peut donc multiplier les 10,63 volts par les ampères, et ainsi obtenir les watts sonores :

10,63 x 1,8
= 19,13 watts maximaux

Ne connaissant pas le rendement de notre amplificateur, il est préférable de multiplier ces watts par le coefficient de pondération 0,75. Ainsi, la puissance maximale que l'on obtiendra ne dépassera jamais les 14,34 watts effectifs.

Quand une inductance et un condensateur sont soumis à une tension alternative, ils se comportent comme une résistance et donc, plus leur valeur ohmique est importante, plus la tension rencontre des difficultés à les traverser. Cette résistance n'a pas une valeur ohmique fixe, on ne peut donc pas la mesurer avec un multimètre ordinaire car sa valeur varie selon les variations de la fréquence. Cette valeur ohmique, influencée par la fréquence, est appelée réactance et est indiquée par les sigles :

XL si la réactance est inductive
XC si la réactance est capacitive

Une **inductance** (voir les figures 265 et 266) présente :
- une faible valeur XL si la fréquence est faible,
- une importante valeur XL si la fréquence est importante.

Un **condensateur** (voir les figures 268 et 269) présente :
- une importante valeur XC si la fréquence est faible,
- une faible valeur XC si la fréquence est importante.

La réactance de la capacité et de l'inductance

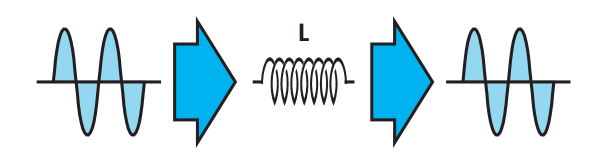


Figure 265 : En appliquant un signal alternatif basse fréquence sur l'entrée d'une inductance, on retrouvera, sur sa sortie, un signal de même amplitude car, pour ces fréquences, l'inductance présente une faible résistance XL.

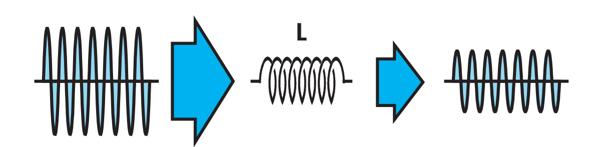


Figure 266 : En appliquant un signal alternatif haute fréquence sur l'entrée d'une inductance, on retrouvera, sur sa sortie, un signal très atténué car, pour ces fréquences, l'inductance présente une résistance XL très importante.

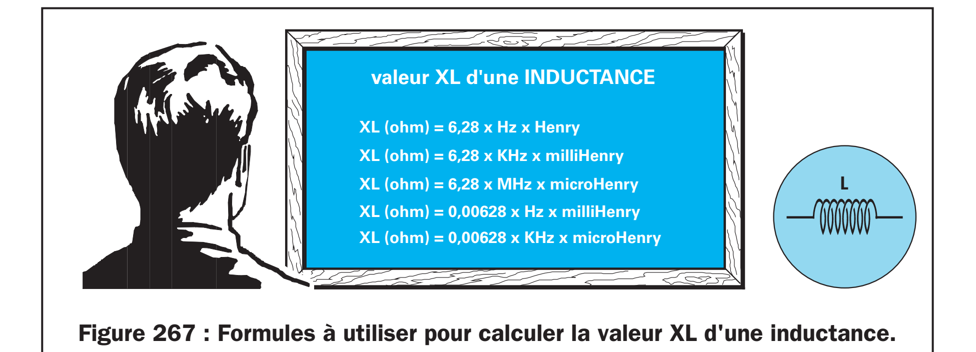


Figure 267 : Formules à utiliser pour calculer la valeur XL d'une inductance.

FORMULES

pour convertir une **valeur** d'inductance :

henry x 1 000 = millihenry

microhenry : 1 000 = millihenry

millihenry x 1 000 = microhenry

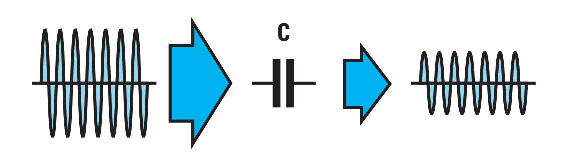


Figure 268 : En appliquant un signal alternatif basse fréquence sur l'entrée d'un condensateur, on retrouvera, sur sa sortie, un signal très atténué car, pour ces fréquences, la capacité présente une résistance XC très importante.

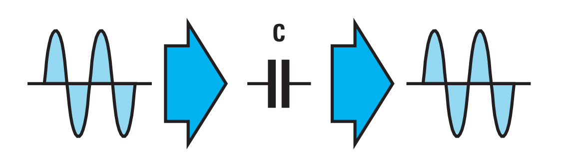


Figure 269 : En appliquant un signal alternatif haute fréquence sur l'entrée d'un condensateur, on retrouvera, sur sa sortie, un signal de même amplitude car, pour ces fréquences, la capacité présente une faible résistance XC.

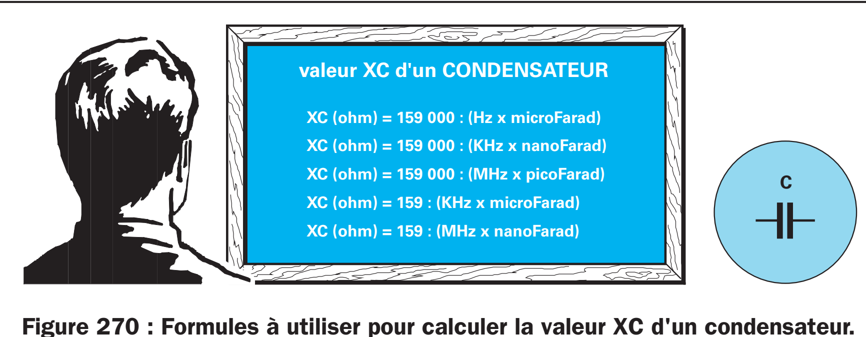


Figure 270 : Formules à utiliser pour calculer la valeur XC d'un condensateur.

FORMULES

pour convertir une **valeur** de capacité :

picofarad : 1 000 = nanofarad
picofarad : 1 000 000 = microfarad

nanofarad : 1 000 = microfarad
nanofarad x 1 000 = picofarad

microfarad x 1 000 = nanofarad

FORMULES

pour convertir une **valeur** de fréquence :

hertz : 1 000 = kilohertz
hertz : 1 000 000 = mégahertz

kilohertz x 1 000 = hertz
kilohertz : 1 000 = mégahertz

mégahertz x 1 000 = kilohertz
mégahertz x 1 000 000 = hertz

Calculer XL et XC en fonction de la fréquence

Exemple : quelle est la valeur ohmique XL d'une inductance de 100 microhenrys traversée par un signal basse fréquence de 4 kHz, ou bien par un signal haute fréquence de 20 mégahertz ?

Solution : pour calculer la valeur ohmique XL, pour une fréquence de 4 kHz, on utilise la formule suivante :

XL ohm =
0,00628 x kHz x microhenry

NON LES FORMULES NE SONT PAS FAUSSES !
En effet, si vous divisez 1000 Hz par 1000, vous obtenez bien 1 kHz ! Ceci s'applique également pour les ohms, les henrys, les picofarads, etc.



On aura donc, pour une fréquence de 4 kHz, une valeur XL de :

0,00628 x 4 x 100
= 2,51 ohms

Pour calculer la valeur ohmique XL, pour une fréquence de 20 mégahertz, on utilise la formule :

XL ohm =
6,28 x MHz x microhenry

Donc, pour une fréquence de 20 MHz, on aura une valeur XL de :

6,28 x 20 x 100
= 12 560 ohms

Comme vous pouvez le constater, pour un signal basse fréquence de 4 kHz, la valeur ohmique de l'inductance de 100 microhenrys est de 2,51 ohms, tandis que si on applique sur cette même inductance un signal de haute fréquence de 20 mégahertz, cette valeur devient 12 560 ohms.

Exemple : calculer la valeur ohmique XC d'un condensateur de 2 200 picofarads pour une fréquence de travail de 4 kHz et de 20 mégahertz.

Solution : pour calculer la valeur ohmique XC d'un condensateur de 2 200 picofarads, pour une fréquence de 4 kHz, on utilise la formule suivante :

XC ohm =
159 000 : (kHz x nanofarad)

Etant donné que dans cette formule la capacité doit être exprimée en nanofarads, on doit tout d'abord convertir les 2 200 picofarads en nanofarads en les divisant par 1 000 :

2 200 : 1 000
= 2,2 nanofarads

Une fois cette conversion effectuée, on peut insérer nos données dans la formule pour obtenir :

159 000 : (4 x 2,2)
= 18 068 ohms

Donc, une capacité de 2,2 nanofarads se comporte, pour une fréquence de 4 kHz, comme s'il s'agissait d'une résistance de 18 068 ohms.

En présence d'une tension continue, tous les condensateurs se comportent comme des isolateurs.

Pour calculer la valeur ohmique XC d'un condensateur de 2 200 picofarads pour une fréquence de 20 MHz, on utilise la formule :

XC ohm =
159 000 : (MHz x picofarad)

Donc, pour une fréquence de 20 MHz, on obtient une valeur de :

159 000 : (20 x 2 200)
= 3,61 ohms

Vous remarquerez que pour 4 kHz, on obtient une valeur ohmique de 18 068 ohms, tandis que pour 20 MHz, on obtient seulement une valeur de 3,61 ohms.

Grâce à ces deux exemples, vous aurez compris que les inductances présentent une faible valeur XL pour les basses fréquences et une valeur XL importante pour les fréquences élevées.

Les condensateurs, par contre, se comportent de façon inverse, c'est-à-dire qu'ils présentent une importante valeur XC pour les basses fréquences et une faible valeur XC pour les fréquences élevées.

Comment transférer un signal BF

Pour transférer un signal BF d'une source vers la base d'un transistor ou pour le transférer du collecteur d'un premier transistor vers la base d'un second, il est nécessaire d'utiliser un condensateur car il laissera passer toutes les fréquences audio, mais pas les tensions continues présentes sur la base ou sur le collecteur (voir les figures 271 et 272).

Etant donné que nous savons que les fréquences audio sont des tensions alternatives pouvant aller d'un minimum de 25 Hz (fréquences des notes graves), à un maximum de 20 000 Hz (fréquences des notes aiguës), pour éviter que ce condensateur n'affaiblisse considérablement le signal de BF, il faut choisir une valeur de capacité d'une faible valeur XC pour la plus basse fréquence devant passer, c'est-à-dire les 25 Hz.

En admettant que l'on utilise un condensateur de 0,1 microfarad, il aura, pour la fréquence de 25 Hz, une valeur XC que nous pouvons calculer grâce à la formule :

XC ohm =
159 000 : (Hz x microfarad)

On obtiendra donc, pour la fréquence de 25 Hz (notes graves), une valeur XC de :

159 000 : (25 x 0,1)
= 63 600 ohms

tandis que pour la fréquence des 20 000 Hz (notes aiguës), on obtiendra une valeur XC de :

159 000 : (20 000 x 0,1)
= 79,5 ohms

Comme vous pouvez le remarquer, les fréquences les plus basses considèrent cette capacité de 0,1 microfarad comme s'il s'agissait d'une résistance de 63600 ohms, tandis que les fréquences les plus hautes considèrent cette capacité comme s'il s'agissait d'une résistance de 79,5 ohms seulement.

Il semble donc évident que les fréquences basses subiront une atténuation plus importante que les fréquences hautes.

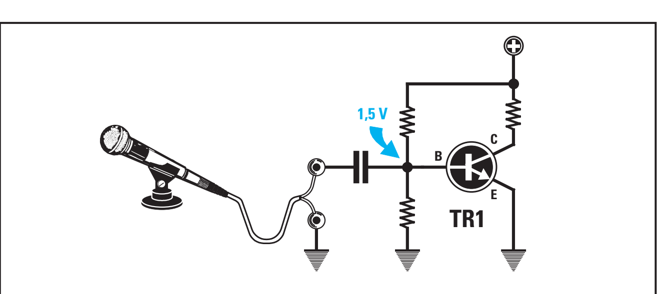


Figure 271 : Si on ne place pas un condensateur entre la base du transistor et le microphone, la tension présente sur la base sera court-circuitée vers la masse.

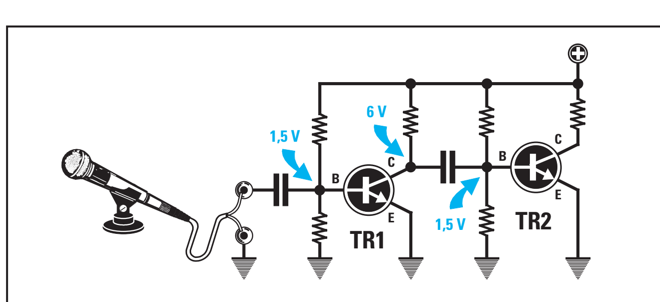


Figure 272 : Pour éviter que la tension présente sur le collecteur du premier transistor ne se retrouve sur la base du second, on doit insérer un condensateur.

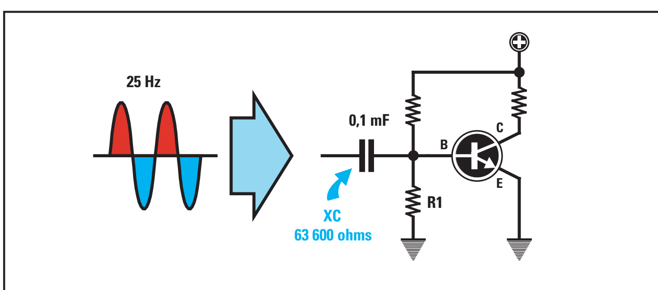


Figure 273 : Si on place un condensateur de 0,1 microfarad sur l'entrée d'un transistor, pour une fréquence de 25 Hz, il présentera une valeur XC de 63 600 ohms.

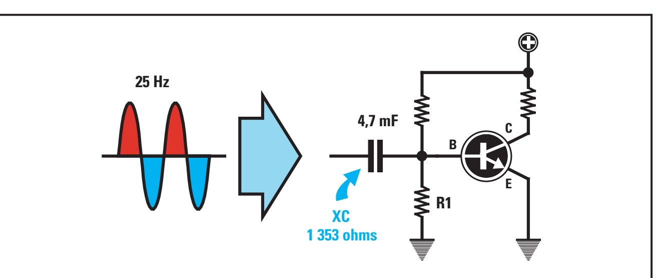


Figure 274 : Si on remplace le condensateur de 0,1 microfarad par un condensateur d'une capacité de 4,7 microfarads, il présentera une valeur XC de 1 353 ohms seulement.

Pour éviter que les fréquences les plus basses ne subissent une atténuation trop importante, il suffit de choisir une valeur de capacité permettant d'obtenir, avec une fréquence de 25 Hz, une valeur XC d'au moins 10 fois inférieure à la valeur de la résistance R1, reliée entre la base et la masse du transistor.

Si la valeur de la résistance R1 était de 47 000 ohms (voir figure 275), on devrait alors choisir un condensateur d'une valeur XC inférieure pour une fréquence de 25 Hz :

47 000 : 10 = 4 700 ohms

Pour connaître la valeur en microfarads de la capacité à utiliser pour ce couplage, on peut utiliser cette formule :

microfarad =
159 000 : (25 x 4 700) = 1,3

Etant donné que 1,3 microfarad n'est pas une valeur standard, on pourra utiliser une capacité supérieure, par exemple 1,5 microfarad ou 2,2 microfarads.

Si l'on remplaçait cette capacité par un condensateur de 4,7 microfarads (voir figure 274), on obtiendrait une valeur XC de :

159 000 : (25 x 4,7)
= 1 353 ohms

Si la valeur de la résistance R1 est de 10 000 ohms, on peut alors choisir un condensateur d'une valeur XC inférieure pour une fréquence de 25 Hz :

10 000 : 10
= 1 000 ohms

Pour connaître la valeur en microfarads de la capacité à utiliser pour ce couplage, on peut encore utiliser cette même formule :

microfarad =
159 000 : (25 x 1 000) = 6,3

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on pourra utiliser une capacité supérieure, par exemple 10 microfarads.

Comment transférer un signal HF

Pour transférer les signaux haute fréquence, qui commencent à environ 0,5 MHz et atteignent jusqu'à 1 000 MHz, on peut utiliser des condensateurs de faible capacité.

Si l'on veut transférer un signal de 12 MHz sur l'entrée d'un transistor amplificateur (voir figure 275), ayant une résistance de 47 000 reliée entre la base et la masse, on pourra tranquillement utiliser un condensateur de 100 picofarads car cette capacité présentera, pour cette fréquence, une faible réactance.

En effet, si l'on calcule sa valeur XC pour une fréquence de 12 MHz, en utilisant la formule :

XC ohm =
159 000 : (MHz x picofarad)

On obtient seulement une valeur de :

159 000 : (12 x 100)
= 132,5 ohms

On trouvera donc toujours dans les étages amplificateurs haute fréquence, des condensateurs de couplage avec des capacités rarement supérieures à 100 picofarads.

Comment éliminer le signal HF d'un signal redressé

Un signal haute fréquence modulé en AM et capté par un récepteur, a toujours le signal de basse fréquence superposé, à la fois sur les demi-ondes positives et sur les demi-ondes négatives (voir figure 277).

Pour prélever la BF seulement de ce signal modulé, on doit tout d'abord le faire passer à travers une diode de redressement afin d'obtenir sur sa sortie une seule demi-onde HF, avec la BF superposée (voir figure 278).

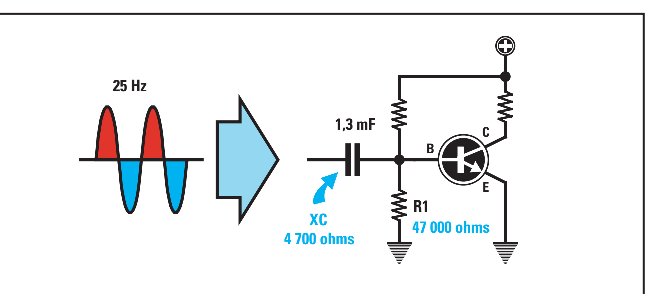


Figure 275 : En fonction de la valeur ohmique de la résistance R1, on devrait toujours choisir une capacité qui, à 25 Hz, présenterait une valeur XC dix fois inférieure.

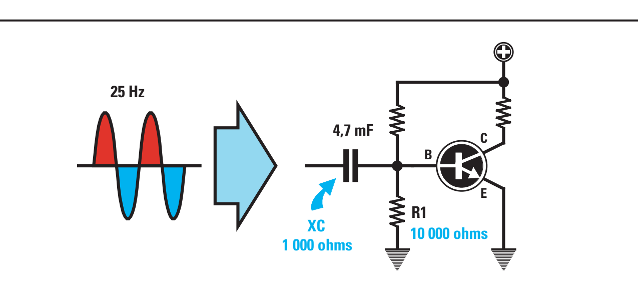


Figure 276 : Si la valeur de la résistance R1, reliée entre la base et la masse, était de 10000 ohms, on devrait choisir une capacité qui présenterait une valeur XC inférieure à 1 000 ohms.

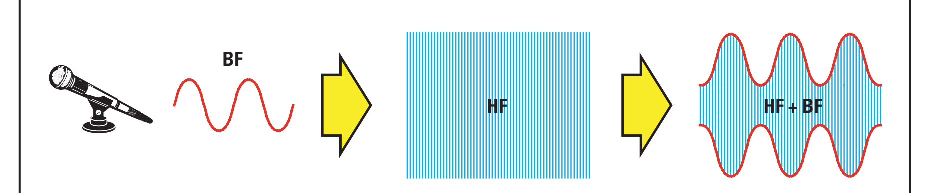


Figure 277 : Dans tous les émetteurs modulés en AM (modulation d'amplitude), le signal BF provenant d'un microphone, ou d'un magnétophone, se superpose au signal haute fréquence. Ainsi, on retrouve sur les deux extrémités opposées du signal HF, c'est-à-dire sur la supérieure et sur l'inférieure, un "double" signal BF.

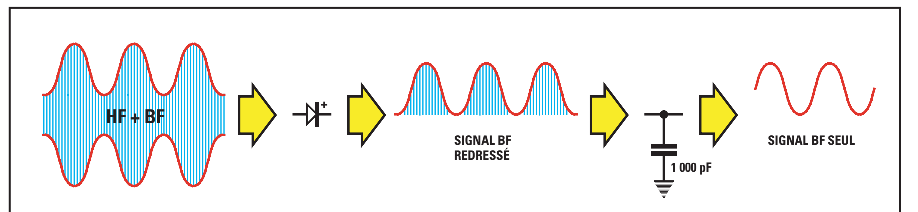


Figure 278 : En réception, pour séparer le signal BF du signal HF, on doit les faire passer à travers une "diode de redressement", de façon à éliminer les demi-ondes positives ou négatives du signal HF. Après la diode, il faut placer un condensateur qui, grâce à sa faible valeur XC, pourra décharger vers la masse le signal HF redressé seulement en laissant intact le signal BF.

Pour éliminer la HF du signal afin de ne conserver que le signal BF, il suffira d'appliquer, entre la sortie de la diode et la masse, un condensateur de faible capacité, par exemple de 1 000 pF.

En admettant que le signal HF soit de 2 MHz et que la fréquence du signal BF soit de 1 500 Hz, on pourra calculer la valeur XC de cette capacité de 1 000 picofarads pour la fréquence de 2 MHz et pour la fréquence de 1 500 Hz, en utilisant la formule :

XC ohm =
159 000 : (MHz x picofarad)

Pour la fréquence des 2 MHz, ce condensateur présentera une valeur XC de :

159 000 : (2 x 1 000)
= 79,5 ohms

Pour la fréquence des 1 500 Hz, ce condensateur présentera une valeur XC de :

159 000 : (0,0015 x 1 000)
= 106 000 ohms

Note : la formule veut que la valeur de la fréquence soit exprimée en MHz, donc, 0,0015 correspond aux 1 500 Hz exprimés en MHz. En effet, en le divisant par 1 000 000, on obtient :

1 500 : 1 000 000
= 0,0015 MHz

Le signal de HF de 12 MHz considérera cette capacité de 1 000 pF comme s'il s'agissait d'une résistance de seulement 79,5 ohms, et par conséquent se déchargera vers la masse pour être automatiquement éliminé.

Le signal BF considérera cette capacité comme une résistance de 106 000 ohms, et ne réussira donc pas à se décharger à masse (voir figure 279).

Dans les prochaines leçons, lorsque nous vous proposerons de réaliser des récepteurs AM complets, vous remarquerez qu'après la diode de redressement se trouve toujours ce condensateur relié à masse destiné à éliminer le signal de haute fréquence du signal redressé (voir figure 278).

Le signal basse fréquence, ne pouvant pas se décharger à masse en raison de l'importance de la valeur XC du condensateur, pourra atteindre les étages amplificateurs BF successifs sans aucune atténuation.

Comment ne pas atténuer un signal HF

Pour prélever du collecteur d'un transistor amplificateur haute fréquence (voir TR1) le signal HF maximal, il faut relier, en série, une impédance à la résistance.

En effet, si le collecteur de TR1 était alimenté par une résistance de 1 000 ohms et si le signal amplifié avait une fréquence de 88 MHz, une partie du signal se déchargerait sur la tension positive d'alimentation.

L'impédance de 220 microhenrys reliée en série à cette résistance (voir figure 281), offrira, avec sa valeur XL, une valeur ohmique que l'on pourra calculer en utilisant cette formule :

XL ohm = 6,28 x MHz x microhenry

6,28 x 88 x 220 = 121 580 ohms

Le réglage de la tonalité

Dans un étage BF, la réactance d'un condensateur peut être exploitée pour atténuer uniquement les notes des aigus, c'est-à-dire toutes les fréquences supérieures à 10 000 Hz, en reliant à masse un condensateur de 22 000 pF ou d'une valeur différente (voir figure 282).

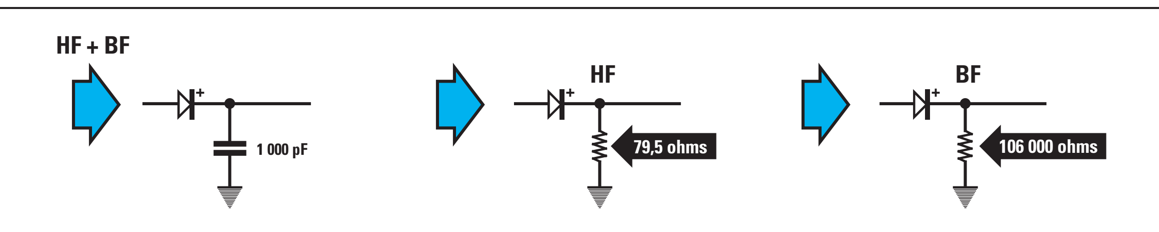


Figure 279 : Quand le signal HF sortant de la diode de redressement rencontre une capacité de 1 000 picofarads reliée à "masse", il considère le condensateur comme une résistance de 79,5 ohms et donc se décharge à masse, tandis que le signal BF, le considérant comme une résistance de 106 000 ohms ne sera pas atténué.

Pour comprendre comment un condensateur peut atténuer seulement les fréquences des aigus de 12 000 Hz et non pas celles des notes moyennes de 800 Hz, il suffit de calculer la valeur XC pour les deux fréquences citées, en utilisant la formule suivante :

XC ohm =
159 000 (kHz x nanofarad)

Etant donné que la formule veut que la valeur de la fréquence soit exprimée en kHz, on doit tout d'abord convertir en kHz les fréquences données en hertz, en les divisant par 1 000 :

800 Hz : 1 000 = 0,8 kHz

12 000 Hz : 1 000 = 12 kHz

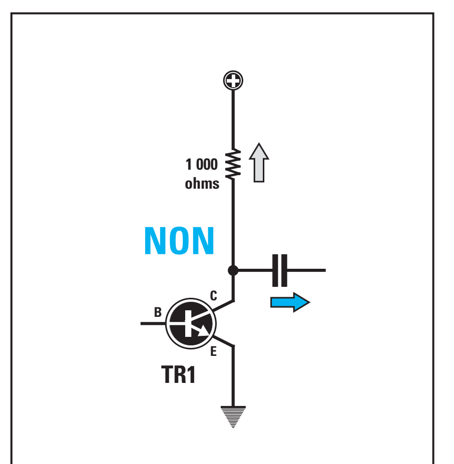


Figure 280 : Si une résistance de faible valeur ohmique (1 000 ohms) est reliée au collecteur d'un transistor amplificateur, la haute fréquence se déchargera sur la ligne positive d'alimentation.

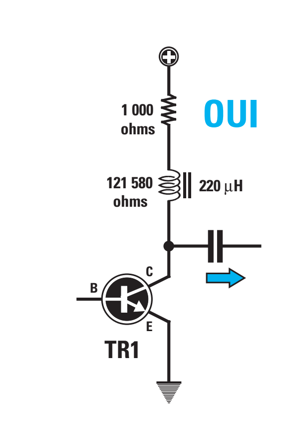


Figure 281 : Si on relie en série une impédance de 220 microhenrys à ces 1 000 ohms, le signal HF considérera ce composant comme s'il s'agissait d'une résistance de 121 580 ohms et ne parviendra pas à le traverser.

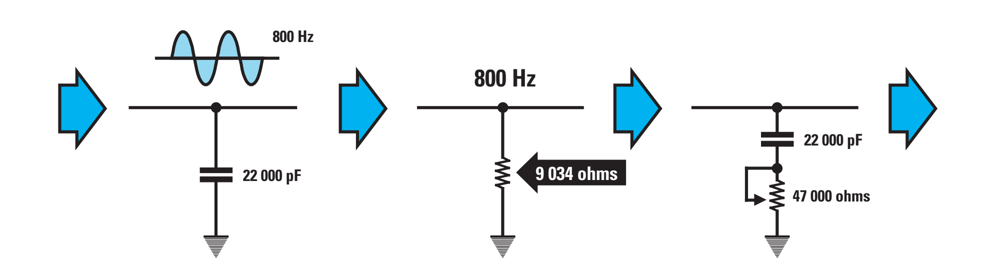


Figure 282 : Un condensateur d'une capacité adéquate relié à masse est capable d'atténuer les fréquences audio. Pour une fréquence de 800 Hz, une capacité de 22 000 pF aura une valeur XC de 9 034 ohms. Si on relie en série un potentiomètre au condensateur, il faudra ajouter la valeur XC du potentiomètre à celle du condensateur. Dans ce cas, les fréquences moyennes et basses subiront une atténuation faible.

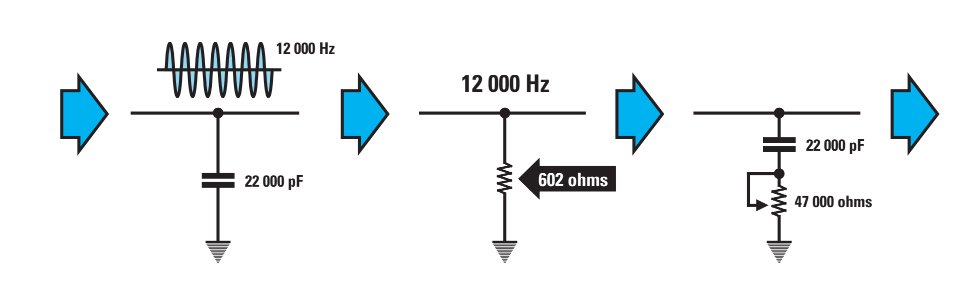


Figure 283 : Lorsqu'une fréquence élevée de 12 000 Hz parviendra sur ce condensateur, la valeur XC descendra vers les 602 ohms. Cette fréquence subira donc une atténuation plus importante par rapport à la fréquence des 800 Hz. En tournant le curseur du potentiomètre, on parviendra à augmenter la valeur ohmique XC du condensateur, et on pourra donc doser à volonté l'atténuation des fréquences aiguës uniquement.

Etant donné que la valeur de la capacité doit être exprimée en nanofarad, on divise 22 000 picofarads par 1 000, obtenant ainsi :

22 000 : 1 000 = 22 nanofarads

En introduisant les valeurs déjà converties dans la formule précédente, on obtient :

159 000 : (0,8 x 22)
= 9 034 ohms

159 000 : (12 x 22)
= 602 ohms

La fréquence de 0,8 kHz considérera donc ce condensateur comme une résistance de 9 034 ohms reliée à masse, tandis que la fréquence de 12 kHz considérera ce condensateur comme une résistance de 602 ohms reliée à masse.

Etant donné que la valeur XC est seulement de 602 ohms pour la fréquence de 12 kHz et de 9 034 ohms pour celle de 0,8 kHz, toutes les notes aiguës seront davantage atténuées que les notes graves.

Dans les réglages de tonalité, le condensateur est toujours relié en série à un potentiomètre pour pouvoir régler la valeur de l'atténuation (voir figure 283).

◆ **G. M.**

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Dans cette leçon, nous vous expliquerons comment les ondes radioélectriques se propagent dans l'espace. Vous découvrirez ainsi que certaines gammes de fréquences, telles que les ondes moyennes, les ondes courtes et les ondes très courtes, ne parviennent pas à atteindre de longues distances pendant le jour, tandis que, pendant la nuit, étant réfléchies vers la terre par les couches ionisées de l'atmosphère, elles parviennent à atteindre des distances se chiffrant en milliers de kilomètres.

D'autres gammes de fréquences, comme celles appelées VHF(1) et UHF(2), lorsqu'elles rencontrent les couches ionisées, ne sont ni absorbées ni réfléchies et, donc, poursuivent librement leur course vers l'espace. C'est pour cette raison que ces gammes sont choisies pour communiquer avec les navettes spatiales et également pour recevoir sur terre tous les signaux transmis par les satellites géostationnaires.

Nous compléterons la leçon en vous expliquant ce qu'est l'AM, ou modulation d'amplitude, ainsi que la FM, ou modulation de fréquence.

Vous apprendrez aussi que le mot "modulation" signifie appliquer un signal audio basse fréquence (BF) sur un signal porteur haute fréquence (HF) et que cette opération permet de "transporter" un son à une distance considérable et à une vitesse de 300 000 km par seconde.

Pour séparer, en réception, le signal BF du signal HF modulé, vous verrez que l'on utilise une simple diode de redressement pour l'AM et un transformateur moyenne fréquence associé à deux diodes de polarité opposée pour la FM.

Couches ionisées de l'atmosphère et propagation des ondes radio

Les signaux des fréquences radio rayonnent de l'antenne émettrice dans toutes les directions, c'est pourquoi certains signaux suivent la superficie terrestre et d'autres se dirigent vers le ciel (voir figure 284).

Les ondes qui s'éloignent de l'antenne en se propageant en suivant la surface de la terre sont communément appelées "ondes de sol" ou "de surface".

Les ondes qui se propagent vers l'espace, en se détachant nettement de la surface de la terre, sont appelées "ondes spatiales", et celles qui, réfléchies par des couches ionisées de l'atmosphère, reviennent vers la terre, sont généralement appelées "ondes réfléchies".

Les ondes réfléchies sont générées à cause de l'ionosphère qui se trouve à environ 60 km de la terre et est composée de nombreuses couches pouvant atteindre jusqu'à 300 km (voir figure 285). Ces couches présentent la caractéristique de pouvoir réfléchir certaines gammes de fréquences radio, comme un miroir frappé d'un rayon de lumière.

La hauteur des couches ionisées comprises entre 60 km minimum et 300 km maximum n'est pas constante car les différents gaz qui composent l'ionosphère absorbent de

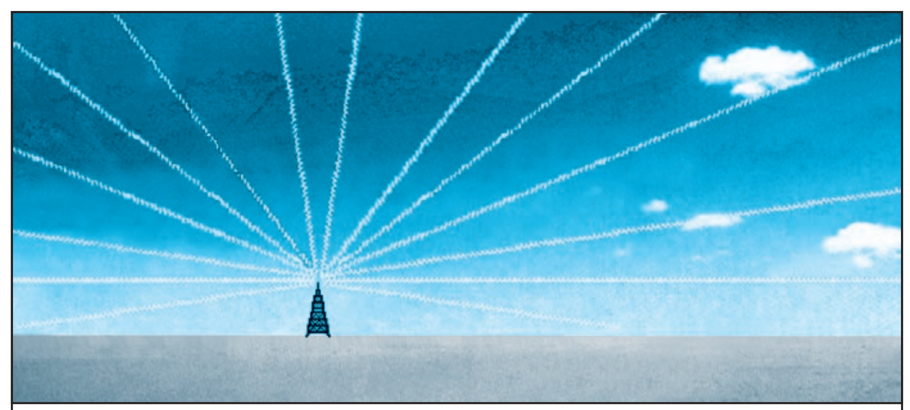


Figure 284 : Les ondes radio rayonnent de l'antenne émettrice dans toutes les directions. Les ondes radio qui suivent la surface terrestre sont appelées "ondes de sol" ou "de surface", tandis que celles qui rayonnent vers le ciel sont appelées "ondes spatiales".

(1) VHF = Very High Frequency, quelquefois appelées THF pour Très Hautes Fréquences ou hyperfréquences - 30 à 300 MHz.
(2) UHF = Ultra High Frequency, Ultra Hautes Fréquences - 300 à 3 000 MHz.

manière différente les radiations solaires.

Comme vous pouvez le voir sur la figure 285, pendant les heures du jour les rayons ultraviolets émis par le soleil forment autour de notre globe 4 ceintures de couches ionisées appelées D, E, F1 et F2.

La couche D : c'est la couche se trouvant à environ 60-80 km.
La couche E : c'est la couche se trouvant à environ 100-120 km.
La couche F1 : c'est la couche se trouvant à environ 160-200 km.
La couche F2 : c'est la couche se trouvant à environ 260-300 km.

Pendant la nuit, la couche D disparaît et la couche F2 descend jusqu'à rejoindre la couche inférieure F1 (voir figure 286). Cette unique couche nocturne, née de la fusion de F1 et F2, est tout simplement appelée F.

Les couches ionisées capables de refléter les ondes radio vers la surface terrestre sont les couches E et F seulement.

La couche la plus basse de l'ionosphère, c'est-à-dire D, présente seulement pendant le jour, absorbe totalement toutes les fréquences des ondes moyennes, courtes et très courtes.

Ces ondes radio ne pouvant pas atteindre les couches réfléchissantes E et F, ne peuvent pas être renvoyés vers la terre. C'est pour cette raison que la propagation à longue distance de ces ondes ne s'effectue pas durant les heures du jour, mais commence uniquement quelques heures après le coucher du soleil, lorsque la couche D disparaît.

Pendant le jour, la propagation des ondes moyennes, courtes ou très courtes s'effectue uniquement par ondes de sol qui ne permettent toutefois pas de couvrir de grandes distances (voir figure 287).

Pendant la nuit, lorsque la couche D disparaît, ces ondes radio, pouvant rejoindre les couches E et F, sont à nouveau réfléchies vers la surface de la terre et peuvent ainsi atteindre des distances remarquables (voir figure 288).

Les ondes réfléchies présentent toutefois l'inconvénient de ne pas être très stables car les couches ionisées changent continuellement de hauteur, en

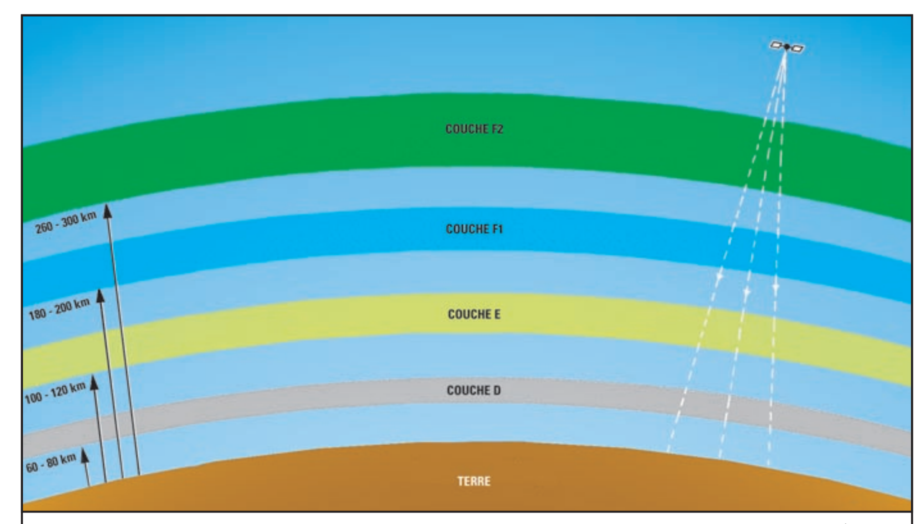


Figure 285 : Pendant les heures du jour, on trouve autour de notre planète 4 couches ionisées situées à différentes hauteurs appelées D, E, F1 et F2. La ceinture de la couche D, à 60-80 km, absorbe totalement les ondes moyennes, courtes et très courtes qui, ne réussissant pas à atteindre les couches réfléchissantes E, F1 et F2, ne sont pas renvoyées vers la terre pendant le jour.

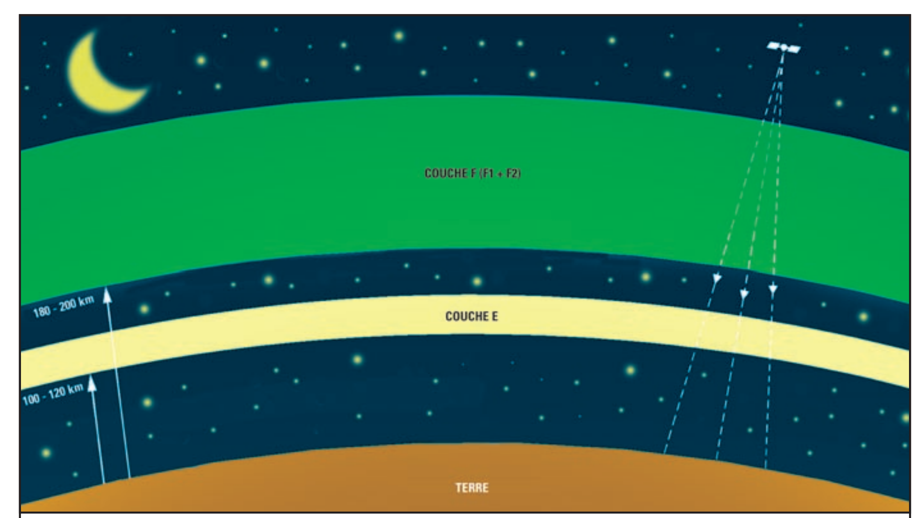


Figure 286 : Pendant la nuit, la couche D disparaît et les couches F1 et F2 s'unissent en formant une seule couche appelée F. La couche D, qui absorbait les ondes radio étant absente, celles-ci réussissent à atteindre les couches réfléchissantes E et F. Les fréquences VHF, UHF et SHF, traversant les couches D, E et F, poursuivent librement leur course dans l'espace.

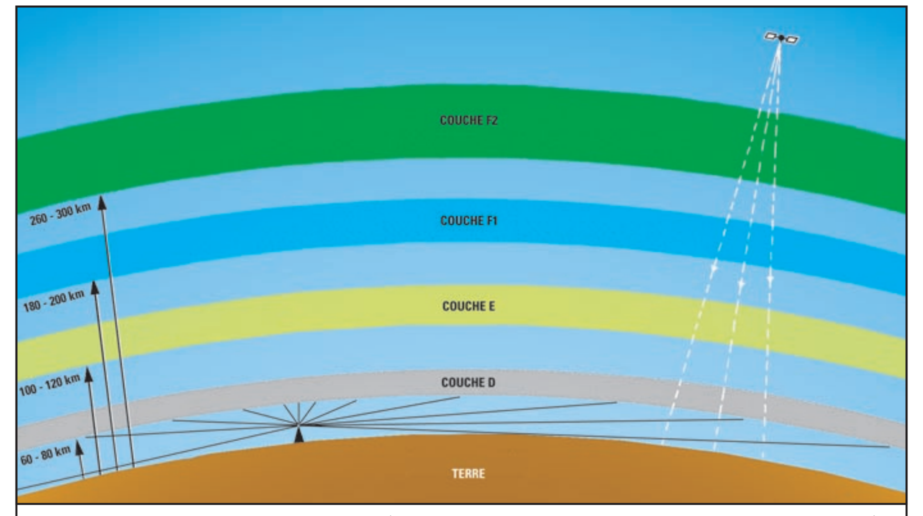


Figure 287 : Pendant le jour, les émetteurs sur ondes moyennes, courtes et très courtes peuvent être captés par l'intermédiaire des "ondes de sol" seulement. Par contre, on peut recevoir, même pendant le jour et sans aucune atténuation, les émetteurs des satellites TV qui utilisent les fréquences VHF, UHF et SHF, car elles traversent les couches D, E, F1 et F2.

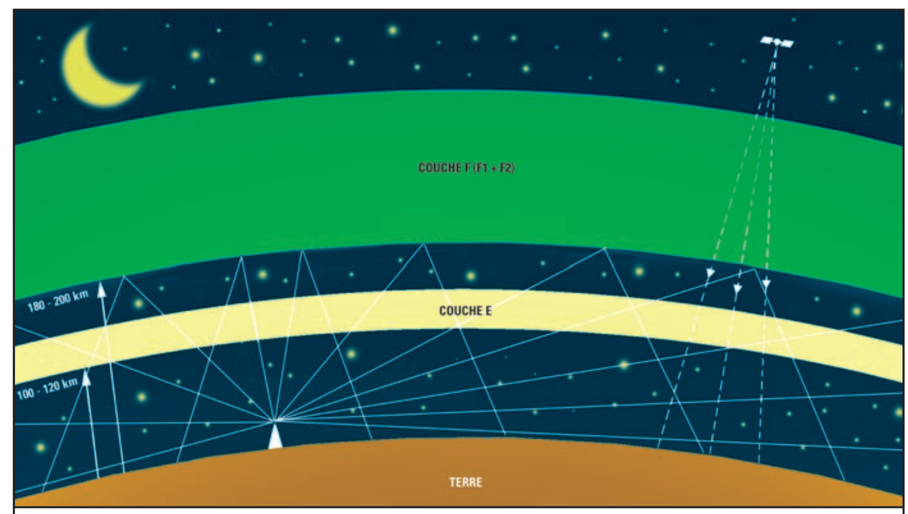


Figure 288 : Quand la couche D disparaît pendant la nuit, toutes les fréquences des ondes courtes et très courtes, parvenant à atteindre la couche réfléchissante F, sont renvoyées vers la terre et atteignent ainsi des distances remarquables. Seules les ondes moyennes sont réfléchies par la première couche E et rarement par la couche F.

provoquant ainsi le phénomène très rapide et typique de l'évanescence du signal capté. L'évanescence, également appelée "fading", se manifeste par une variation lente et constante de l'intensité du signal capté.

Ce phénomène provoque l'affaiblissement continu du signal de l'émetteur capté pour lui rendre ensuite, en quelques secondes, son intensité maximale. Ce phénomène se produit normalement durant les premières heures du soir et les premières heures du jour, lorsque les rayons du soleil commencent à influencer les couches D, E, F1 et F2 présentes dans l'ionosphère.

Sachez aussi que les couches ionisées sont également influencées par les taches solaires et les orages magnétiques, c'est-à-dire des variations du champ magnétique terrestre qui provoquent ce que l'on appelle les "aurores boréales".

Certaines fréquences de la gamme des ondes très courtes et, précisément celles comprises entre 20 et 40 MHz, se comportent de façon complètement différente des autres fréquences. En effet, elles ne réussissent pas à dépasser les 30 km.

Ces fréquences peuvent ensuite réapparaître, par l'intermédiaire des ondes réfléchies, à une distance de plus de 1 000 km. En supposant donc qu'il y ait une antenne émettrice rayonnant un signal sur ces fréquences à Paris, on ne pourra pas le recevoir en grande banlieue, mais, par contre, on le captera parfaitement, que l'on se trouve à Madrid, Berlin ou à New York.

La zone dans laquelle il est presque impossible de recevoir ces signaux est appelée "zone de silence" ou "zone d'ombre".

La gamme des ondes moyennes ne subit pas ce phénomène. En effet, contrairement aux ondes courtes et très courtes, les ondes moyennes sont réfléchies vers la terre par la première couche ionisée E, qui se trouve à une hauteur de seulement 100-120 km. De ce fait, la zone couverte par les ondes de sol se termine là où commence la zone couverte par les ondes réfléchies.

C'est justement parce qu'on peut les recevoir de jour comme de nuit que les ondes moyennes ont été choisies par de nombreux pays pour la diffusion de leurs programmes nationaux.

De nuit, ces ondes sont réfléchies tant par la couche E que par la couche F.

C'est pour cette raison qu'il est alors possible de capter de nombreuses stations étrangères situées à des milliers de kilomètres de nous.

Nous avons expliqué comment les ondes moyennes, les courtes et les très courtes se propagent, mais nous n'avons pas encore évoqué le comportement des fréquences supérieures à 100 MHz appelées VHF, UHF et SHF, ou plus simplement ondes métriques, ondes décimétriques et micro-ondes.

Quand ces fréquences rencontrent les couches ionisées D, E, F1 et F2, elles ne sont ni absorbées ni réfléchies, mais elles continuent librement leur course vers l'espace. S'il en allait autrement, nous ne pourrions pas recevoir de la terre les signaux provenant des satellites placés en orbite dans l'espace, ni même parler avec les astronautes voyageant dans une navette spatiale.

Toutes les fréquences VHF, UHF et SHF émise par un émetteur terrestre ne peuvent être captées par voie directe, et puisque la terre est ronde, leur portée est dite "optique" ou "à vue" (voir figure 289).

Afin, justement, d'augmenter leur portée optique, toutes les antennes émettrices sont installées sur des points hauts.

Les fréquences VHF et SHF rayonnées par des satellites placés dans l'espace sont captées de façon directe en orientant la parabole réceptrice vers ces satellites.

Les ondes UHF, VHF et SHF, qui suivent la voie terrestre, sont caractérisées par leur capacité à être facilement réfléchies ou réfractées (voir figure 291), et sont, pour cette raison, capables d'atteindre des zones où l'onde directe ne réussirait pas à arriver.

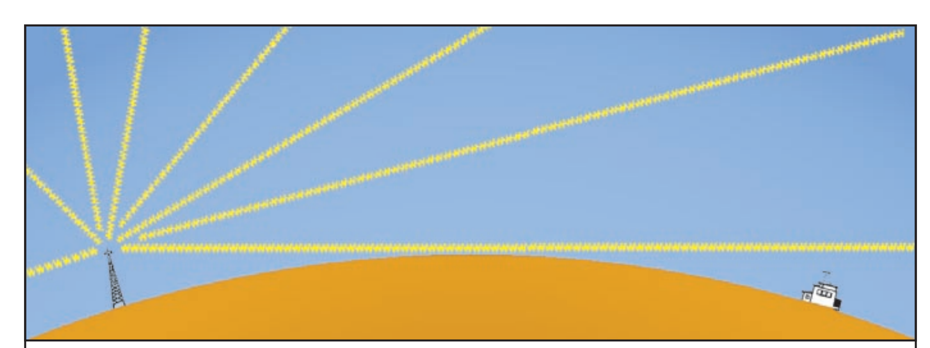


Figure 289 : Les fréquences VHF ou UHF rayonnées par un émetteur TV terrestre ne peuvent être captées que par l'intermédiaire des "ondes de sol". Comme la terre est ronde, leur portée peut dépasser la portée "optique". C'est pour cette raison que les antennes émettrices sont installées au sommet des points hauts afin de pouvoir atteindre de plus grandes distances.

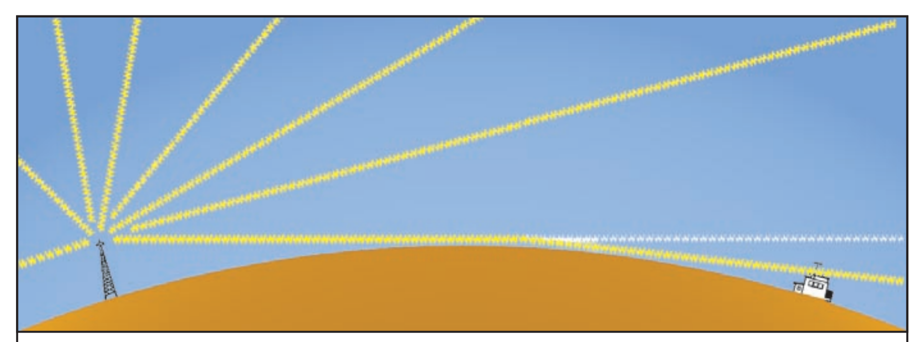


Figure 290 : Les “ondes de sol” ne suivent jamais une ligne droite, car elles sont attirées vers le sol par le champ magnétique terrestre. Une antenne émettrice placée à 300 m au-dessus du niveau de la mer, a un “horizon optique” d’environ 60 km, mais, sous l’effet de l’attraction du champ magnétique terrestre ces ondes radio réussissent à atteindre de plus grandes distances.

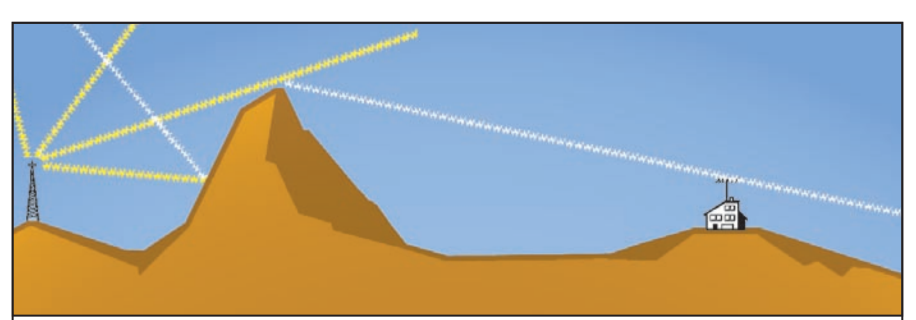


Figure 291 : Les ondes VHF et UHF ont pour caractéristique de pouvoir être réfléchies, diffractées et réfractées si elles rencontrent un obstacle. En pratique, elles se réfléchissent ou se diffractent comme le fait la lumière avec un miroir et c’est pour cette raison qu’elles peuvent atteindre des zones que l’onde directe n’atteindrait jamais.

Modulation des signaux HF

Les signaux HF peuvent atteindre des distances de centaines ou de milliers de kilomètres et être captés par l’intermédiaire d’une antenne, mais nous ne réussirons jamais à les entendre parce que notre oreille ne réussit pas à percevoir des fréquences supérieures à 20 000 hertz.

Et pourtant, si nous allumons une radio nous réussissons à entendre musique et paroles, c’est-à-dire tous les signaux basse fréquence compris dans la gamme acoustique allant de 20 hertz à 20 000 hertz.

A présent, vous vous demanderez comment il est possible qu’un signal haute fréquence se transforme en un signal audible basse fréquence. La réponse est simple : les signaux HF ne sont utilisés, dans les transmissions radio ou télé, que comme “véhicule porteur” pour transporter n’importe quel signal basse fréquence à une vitesse de 300 000 km à la seconde.

Pour mieux expliquer le concept de “véhicule porteur”, voici un exemple.

Si on voulait faire arriver à New York une tortue (signal BF) partant de France par ses propres moyens, cela prendrait des années.

Pour la faire parvenir à son but en peu de temps, il n’existe qu’un seul moyen : la mettre à bord d’un véhicule très rapide tel qu’un avion à réaction (signal HF).

De la même façon, pour faire en sorte qu’un signal basse fréquence atteigne rapidement une distance remarquable, on a pensé à le “mettre à bord” d’un signal rapide tel qu’un signal haute fréquence, capable de parcourir 300 000 km par seconde.

Le signal haute fréquence qui “transporte” le signal basse fréquence est appelé “signal HF modulé”.

En simplifiant, un signal haute fréquence peut être modulé de deux façons différentes : en amplitude, comme on le fait normalement pour les ondes moyennes et courtes, ou bien en fréquence, pour les gammes VHF et UHF.

Modulation d’amplitude

Pour moduler un signal en amplitude, on superpose le signal basse fréquence (voir figure 292) sur le signal haute fréquence, obtenant ainsi un signal HF d’amplitude variable, qui reproduit fidèlement la sinusoïde du signal basse fréquence. Comme vous pouvez le voir sur les figures 292 et 293, le signal HF se trouve sur les deux extrémités du signal de haute fréquence.

Lorsqu’un récepteur reçoit un signal haute fréquence modulé en amplitude, il doit le “couper” à la moitié pour pouvoir ensuite extraire le signal BF uniquement. Pour cela, il utilise une simple diode de redressement (voir figure 295).

La diode, reliée comme sur la figure 296, ne laisse passer que les demi-ondes positives. Si l’on inverse sa polarité (voir figure 297), seules les demi-ondes négatives passeront.

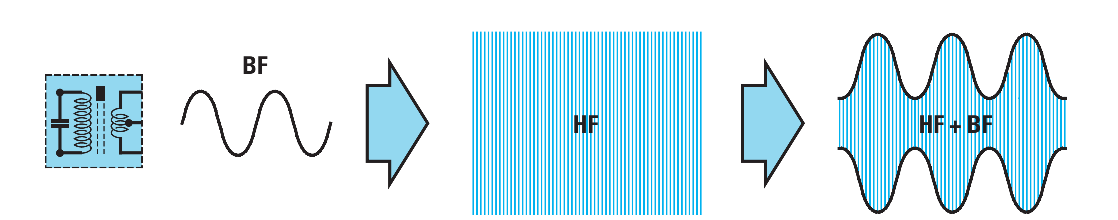


Figure 292 : Pour moduler un signal HF (Haute Fréquence) en AM (Modulation d’Amplitude), il faut superposer le signal sinusoïdal BF (Basse Fréquence) sur sa porteuse. Comme vous pouvez le remarquer, la sinusoïde BF se superpose automatiquement sur les deux extrémités du signal HF en augmentant ainsi l’amplitude (voir partie de droite du dessin).

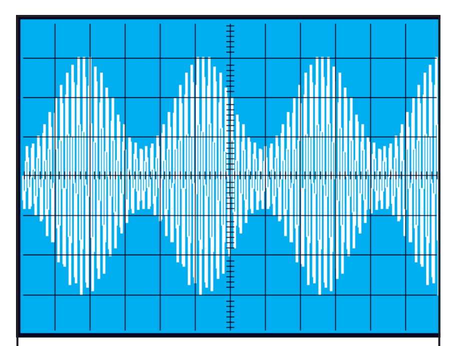


Figure 293 : Si l'on regarde un signal HF modulé en AM sur un oscilloscope, on peut voir sur ses extrémités supérieure et inférieure, la sinusoïde du signal BF modulant.

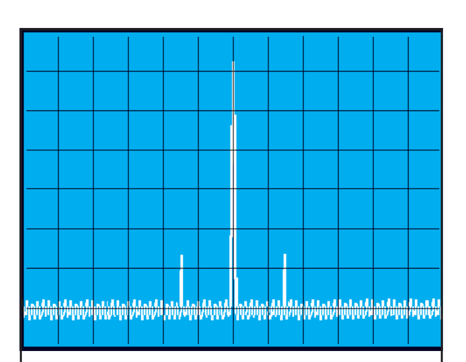


Figure 294 : Si l'on regarde ce même signal HF modulé en AM avec un analyseur de spectre, on verra une grande raie centrale (la HF) et les deux petites raies latérales (le signal BF).

Le signal de redressement composé d'une demi-onde positive, ou bien d'une demi-onde négative, HF à laquelle est superposé le signal BF, est appliqué à un condensateur chargé d'envoyer à masse les éventuels résidus du signal haute fréquence. De cette façon, on retrouve un signal basse fréquence identique à celui que l'on a utilisé pour moduler l'émetteur.

Ce type de modulation, appelé “AM” (Amplitude Modulation), maintient la fréquence du signal HF fixe, mais pas son amplitude. La modulation AM présente l'inconvénient d'être très sensible aux perturbations électriques ainsi qu'aux décharges atmosphériques et de ne pas être à haute fidélité, car la fréquence audio maximale, pouvant être superposée au signal HF, ne peut pas dépasser 5 000 hertz.

C'est ainsi que toutes les fréquences, captées par un microphone ou prélevées sur un disque, supérieures à 5 000 hertz sont éliminées et c'est pourquoi nous ne parviendrons jamais à reproduire les fréquences très aiguës de 10 000 à 15 000 hertz.

Modulation de fréquence

La modulation de fréquence, communément appelée “FM” (Frequency Modulation), est ainsi nommée car le signal basse fréquence est utilisé pour faire varier la fréquence du signal HF et non son amplitude.

Par rapport à l'AM, la FM présente l'avantage d'être exempte de perturbations électriques. En effet, un récepteur FM ne tient compte que des variations de fréquences du signal et n'importe quelle perturbation pouvant faire varier l'amplitude du signal HF est automatiquement ignoré.

Un signal HF peut se moduler en fréquence en partant d'une fréquence minimale de 20 hertz jusqu'à atteindre un maximum de 20 000 hertz.

Seul ce type de modulation est capable de reproduire fidèlement toute la bande audio et c'est pour cette raison qu'il est utilisé pour les transmissions hi-fi.

On se demande alors pourquoi, malgré tous ces avantages, la modulation FM n'est utilisée que dans les gammes VHF et non pas dans les gammes d'ondes moyennes ou courtes. La raison est très simple : la fréquence porteuse HF, lorsqu'elle est modulée en fréquence, couvre une bande beaucoup plus large que celle occupée par un signal modulé en amplitude. Donc, si elle était utilisée sur les ondes moyennes ou sur les ondes courtes, il faudrait réduire d'au moins 70 % le nombre des stations émettrices déjà présentes pour éviter que le signal d'un émetteur n'interfère sur le signal de l'émetteur voisin. Impossible, bien sûr !

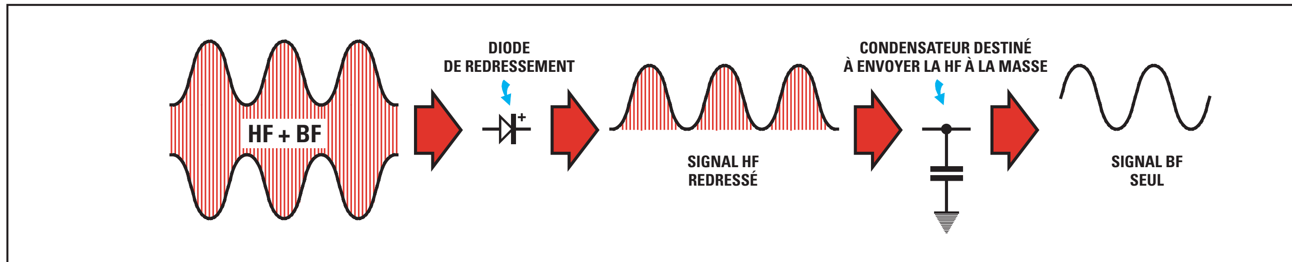


Figure 295 : Pour extraire le signal BF d'un signal HF modulé en AM, on utilise une diode qui redresse une seule demi-onde HF avec le signal BF superposé, puis on élimine le signal HF avec un condensateur de faible capacité. De cette façon, on obtient un signal BF identique à celui utilisé pour la modulation.

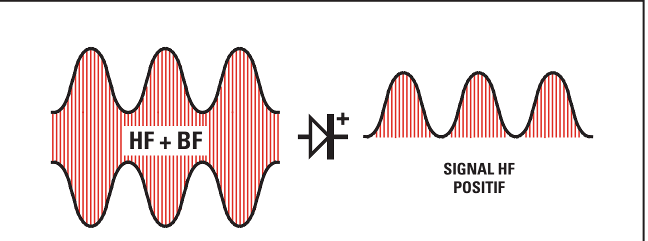


Figure 296 : Si on relie la diode de détection dans ce sens, on récupérera, sur sa sortie, les demi-ondes positives du signal HF + BF uniquement. Le condensateur placé après la diode (voir figure 295) éliminera le signal HF seulement en laissant intacte l'information BF.

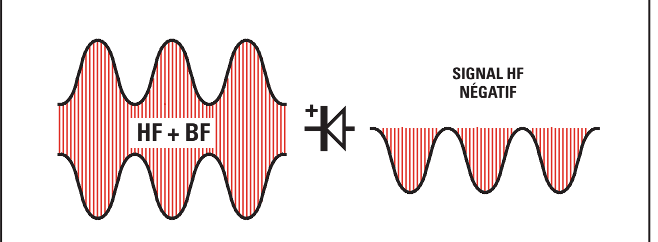


Figure 297 : Si on relie la diode de détection dans ce sens, on récupérera, sur sa sortie, les demi-ondes négatives du signal HF + BF uniquement. Le condensateur placé après la diode (voir figure 295) éliminera le signal HF seulement en laissant intacte l'information BF.

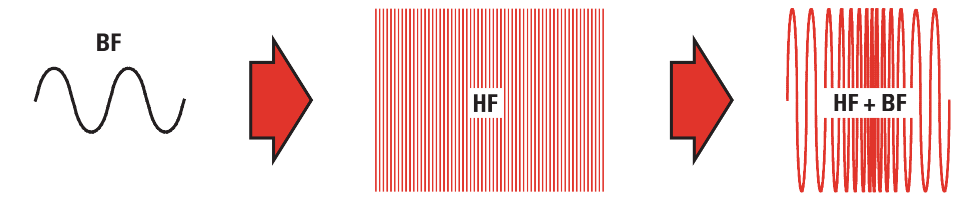


Figure 298 : Pour moduler en FM (Modulation de Fréquence) un signal HF, les ondes sinusoïdales BF sont additionnées et soustraites de la "fréquence porteuse". De cette façon, la fréquence varie mais l'amplitude reste constante (ce que l'on constate sur la figure 299).

Si on module un émetteur qui transmet en AM sur une fréquence de 90 MHz, avec un signal BF de 1 000 Hz, sa fréquence restera fixe sur 90 MHz et seule l'amplitude variera. Il en sera de même si la fréquence HF était modulée avec un signal BF de 5 000 Hz.

En simplifiant, on peut donc considérer que cet émetteur occupera une place d'environ 5 kHz dans la bande.

Si on module un émetteur qui transmet en FM sur cette même fréquence de 90 MHz (90 000 kHz), avec un signal HF de 1 000 Hz (1 kHz), sa fréquence porteuse se déplacera de plus ou moins 1 000 Hz, et couvrira alors une gamme comprise entre :

90 000 + 1 = 90 001 kHz
90 000 – 1 = 89 999 kHz

La bande occupée sera donc de :

90 001 – 89 999 = 2 kHz

Si on module le même émetteur avec un signal BF de 20 000 Hz (20 kHz), sa fréquence se déplacera de plus ou moins 20 kHz et couvrira donc une bande comprise entre :

90 000 + 20 = 90 020 kHz
90 000 – 20 = 89 980 kHz

La bande occupée sera donc de :

90 020 – 89 980 = 40 kHz

En simplifiant, on peut donc considérer que cet émetteur occupera une place d'environ 40 kHz dans la bande.

Le récepteur, pour extraire le signal BF d'un signal haute fréquence modulé en FM, utilise un discriminateur composé d'un pot moyenne fréquence, équipé d'un secondaire avec prise centrale, et de deux diodes de redressement.

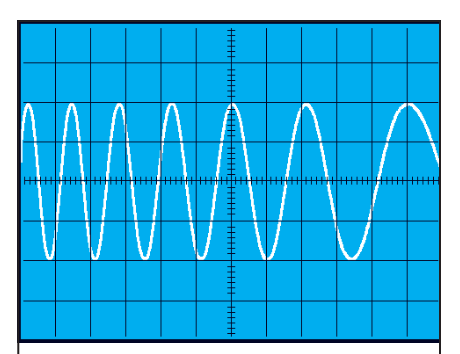


Figure 299 : Si l'on regarde un signal HF modulé en FM sur un oscilloscope, on verra que le signal BF resserre et élargit la fréquence de l'onde porteuse mais ne modifie pas son amplitude.

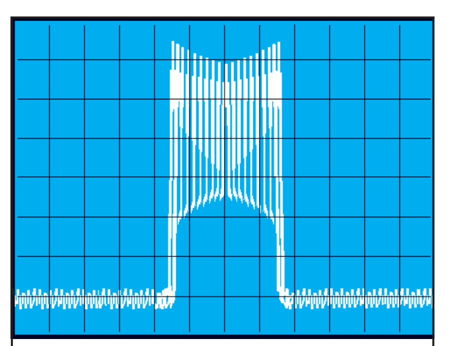


Figure 300 : Si l'on observe le même signal HF modulé en FM avec un analyseur de spectre, on verra une fréquence centrale qui s'élargira et se resserrera au rythme du signal BF.

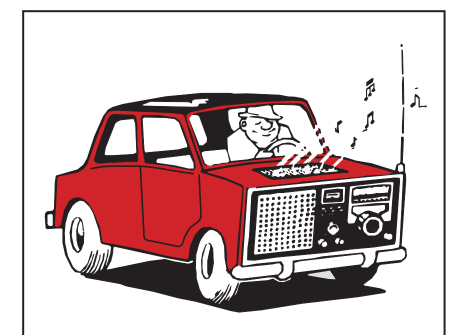


Figure 301 : Si on se déplace en voiture avec la radio sur AM, réglée pour la réception d'un émetteur ondes moyennes, on parviendra à le recevoir pendant plusieurs centaines de kilomètres grâce aux "ondes de sol". Si on se règle en FM sur un émetteur qui transmet dans la bande 88 à 108 MHz (communément appelée "bande FM"), c'est-à-dire dans la gamme VHF, on ne parviendra à le recevoir que jusqu'à la limite de sa portée "optique".

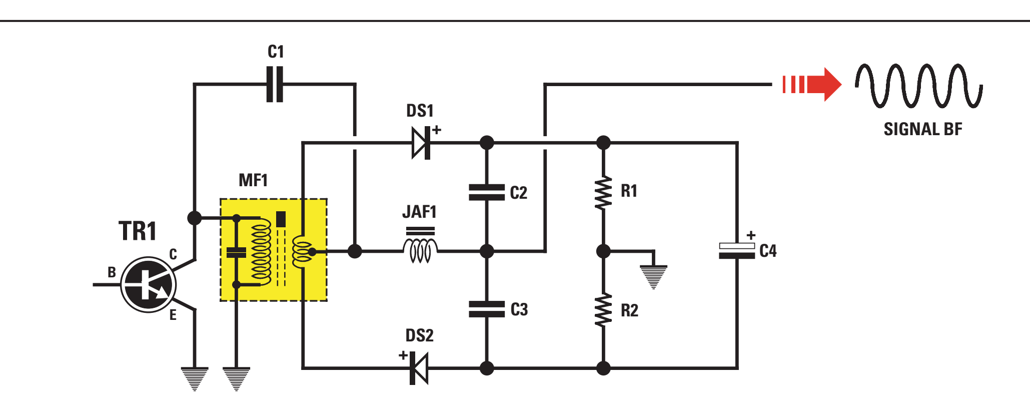


Figure 302 : Pour extraire le signal BF d'un signal modulé en FM, on relie deux diodes de polarité opposée sur le secondaire, muni d'une prise centrale, d'un pot moyenne fréquence. En l'absence de modulation, les deux diodes, en redressant la HF, chargent le condensateur électrolytique C4 avec une tension. En présence de modulation, les deux diodes font varier cette tension de façon à reproduire fidèlement la sinusoïde du signal BF.

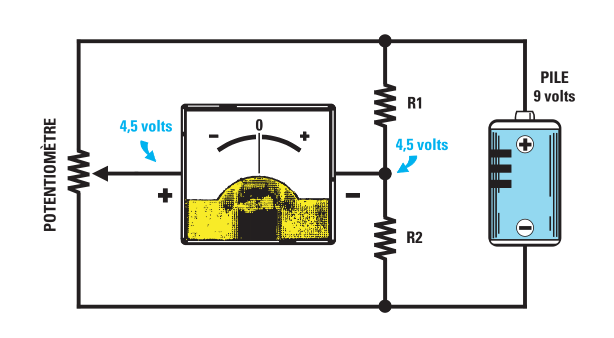


Figure 303 : Pour comprendre comment le condensateur C4 peut fournir une tension variable, vous pouvez réaliser ce montage simple. Quand le curseur du potentiomètre (20 kΩ) est à mi-course, l'aiguille de l'instrument reste au centre car à la jonction du pont diviseur formé par les résistances R1 et R2 (10 kΩ) on trouvera la même tension que sur le curseur du potentiomètre.

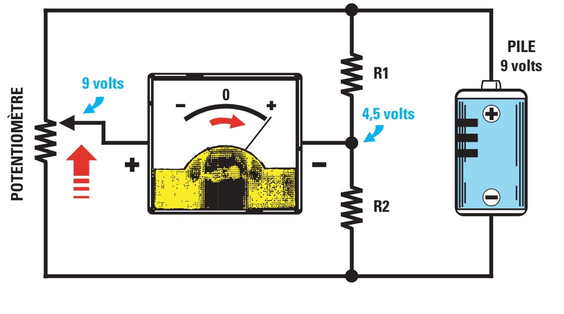


Figure 304 : Si l'on tourne le curseur du potentiomètre à fond vers le positif de la pile, l'aiguille de l'instrument déviera vers la droite, car on trouve 9 volts sur la borne reliée au potentiomètre, c'est-à-dire une tension supérieure à celle de 4,5 volts se trouvant à la jonction des résistances R1 et R2.

Sur l'une des extrémités du secondaire de la moyenne fréquence, on relie la cathode d'une diode et sur l'autre, l'anode de la seconde diode (voir figure 302).

La prise centrale de cette moyenne fréquence, comme vous pouvez le voir sur le schéma électrique de la figure 302, se trouve reliée sur l'enroulement primaire par l'intermédiaire du condensateur C1.

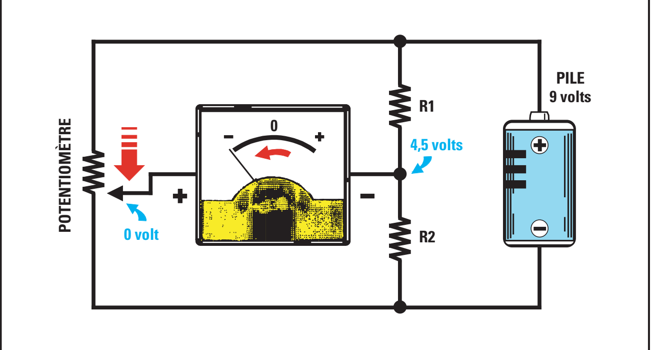


Figure 305 : Si l'on tourne le curseur du potentiomètre à fond vers le négatif de la pile, l'aiguille de l'instrument déviera vers la gauche, car sur la borne reliée au potentiomètre, on trouve 0 volt, c'est-à-dire une tension inférieure à celle de 4,5 volts se trouvant à la jonction des résistances R1 et R2.

En l'absence de modulation, les deux diodes redressent la porteuse du signal haute fréquence en chargeant ainsi le condensateur électrolytique C4 placé entre les deux sorties, avec une tension proportionnelle à l'amplitude du signal capté.

En admettant que le condensateur électrolytique C4 ait été chargé avec une tension de 1 volt, entre la diode DS1 et la masse, on trouvera une tension de 0,5 volt positif et entre la diode DS2 et la masse, une tension de 0,5 volt négatif, car la jonction des deux résistances R1 et R2 est reliée à masse.

En présence de modulation, les deux diodes additionnent ou soustraient à la tension présente sur le condensateur électrolytique C4, les variations de fréquence, et on retrouve ainsi sur la sortie une tension variable qui, en atteignant un maximum positif et un maximum négatif, reproduit fidèlement l'onde sinusoïdale BF utilisée pour moduler en FM la porteuse de l'émetteur.

Pour expliquer comment les deux diodes parviennent à fournir une tension variable, après avoir chargé le condensateur électrolytique C4 avec le signal de la porteuse HF, on utilise les schémas électriques des figures 303, 304 et 305.

Si on relie la borne positive d'un voltmètre à 0 central sur le curseur d'un potentiomètre de 20 kΩ et sa borne négative sur la jonction des deux résistances R1 et R2 de 10 kΩ, et si on alimente le tout à l'aide d'une pile de 9 volts, assumant, dans notre exemple, la fonction du condensateur électrolytique C4, on obtient les trois possibilités suivantes :

- En plaçant le curseur du potentiomètre à mi-course, on trouvera sur la borne positive du voltmètre une tension égale à la moitié de celle fournie par la pile, c'est-à-dire 4,5 volts (voir figure 303). Comme la borne négative du voltmètre est reliée à la jonction des deux résistances R1 et R2, où se trouve la moitié de la tension, c'est-à-dire 4,5 volts également, le voltmètre ne remarquera aucune différence de potentiel et dans ces conditions, l'aiguille restera immobile sur le 0 central.

- Si l'on déplace le curseur du potentiomètre à fond vers le positif de la pile (voir figure 304), on trouvera sur la borne positive du voltmètre une tension de 9 volts. Comme cette tension est supérieure aux 4,5 volts se trouvant sur la borne négative reliée à la jonction des résistances R1 et R2, l'ai-

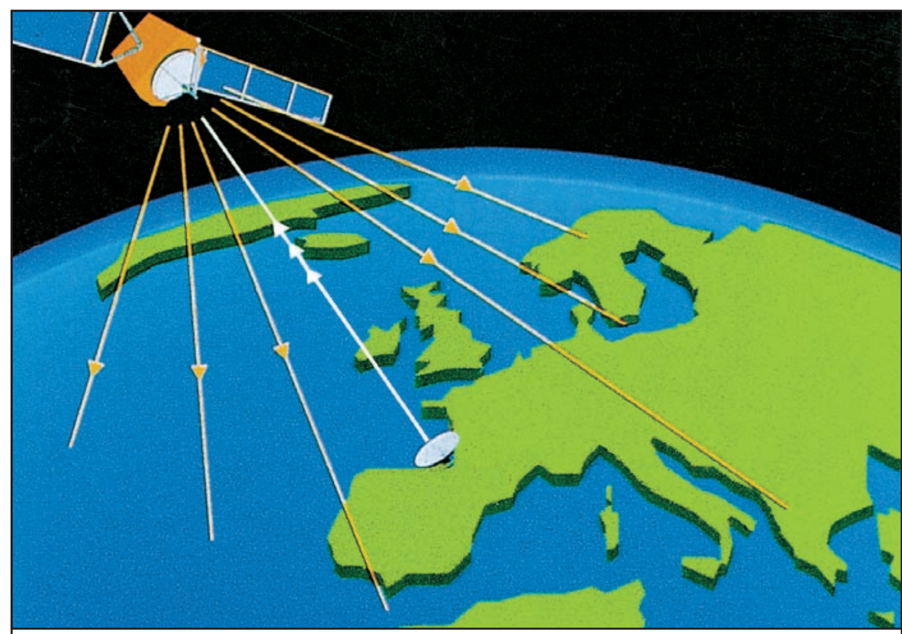


Figure 306 : A l'intérieur d'un même satellite, on trouve plusieurs types de récepteurs et d'émetteurs. Des programmes TV ainsi que des communications téléphoniques sont envoyés vers le satellite, par les opérateurs habilités, à l'aide d'émetteurs et de grandes antennes paraboliques. Le satellite "arrosera" ensuite toute sa zone de couverture avec les programmes TV qu'il aura reçus et retransmettra les communications téléphoniques aux opérateurs chargés de les faire parvenir au client final.

guille de l'instrument déviera brusquement vers la droite.

- Si l'on déplace le curseur du potentiomètre à fond vers le négatif de la pile (voir figure 305), on retrouvera sur la borne positive du voltmètre une tension de 0 volt. Comme cette tension est inférieure aux 4,5 volts se trouvant sur la borne négative reliée à la jonction des résistances R1 et R2, l'aiguille de l'instrument déviera brusquement vers la gauche.

Donc, si l'on tourne rapidement l'axe du potentiomètre dans le sens des aiguilles d'une montre puis dans le sens inverse, l'aiguille de l'instrument oscillera vers la valeur maximale positive ou négative, en simulant fidèlement la forme d'une onde sinusoïdale qui, comme nous le savons, est une tension alternée composée d'une demi-onde positive et d'une négative.

Aujourd'hui, la détection d'un signal FM n'est plus effectuée par l'intermédiaire de deux diodes car les nouvelles technologies nous ont donné des circuits intégrés spécifiquement conçus pour remplir cette fonction.

Transmission par satellite

Le 4 septembre 1957, les Russes lancèrent dans l'espace une sphère de 58 cm de diamètre et de 83,6 kg appelé "Spoutnik", qui commença à tourner autour de la terre comme un satellite, utilisant les mouvements de l'espace et le principe de gravitation universelle.

La nouvelle qu'un satellite artificiel était en orbite autour de la terre a surpris et émerveillé l'humanité toute entière. On comprit alors immédiatement que ce "Spoutnik" inaugurait une aire nouvelle.

Encouragés par le succès du premier lancement, le 3 novembre 1957, les Russes mirent en orbite Spoutnik 2, un satellite long de 8 mètres pesant 508 kg, à l'intérieur duquel ils avaient placé le premier voyageur de l'espace : Laika, une chienne sibérienne.

La réponse des Américains à ces deux événements ne se fit pas attendre et, dès le 31 janvier 1958, ils lancèrent de Cap Canaveral, un satellite appelé "Explorer 1".

Au début, tous ces satellites furent utilisés pour de simples expériences spatiales, puis vers 1962-1963, on commença à lancer les premiers satellites géostationnaires actifs, capables de recevoir et de transmettre simultanément des conversions téléphoniques, des programmes de télévision, etc.

Par la suite, de nombreux satellites de télévision furent mis en orbite. L'émission et la réception se perfectionnèrent tellement rapidement qu'aujourd'hui, avec une simple antenne parabolique, nous avons accès à des programmes de télévision en provenance de pays si lointains que nous n'aurions jamais imaginé, il y a quelques années à peine, pouvoir recevoir.

Lorsqu'une chaîne de télévision voulait couvrir la totalité d'un pays, il lui fallait avoir recours à des centaines de répéteurs. En effet, les signaux VHF et UHF ayant une portée optique, ils ne peuvent pas franchir une colline ou une montagne, ni même atteindre de grandes distances en raison de la rotondité de la terre. La

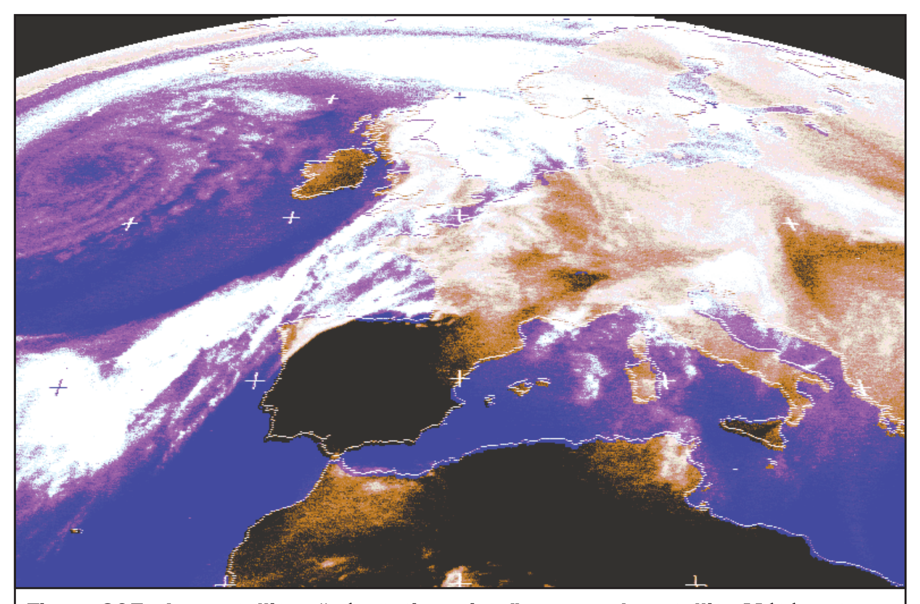


Figure 307 : Les satellites "géostationnaires", comme le satellite Météosat, par exemple, placés à une distance de 36 000 km, sont normalement utilisés pour les communications téléphoniques, pour diffuser des programmes TV et pour surveiller les conditions météorologiques de la planète.



Figure 308 : Les satellites "polaires" sont généralement utilisés à des fins militaires. Sur cette photo, on parvient à distinguer le nombre de bateaux sur le point de sortir ou d'entrer dans un port. Les performances des satellites militaires sont, bien entendu, tenues secrètes. On estime toutefois, qu'à l'heure actuelle, compte tenu de l'état de la technologie, il est possible, depuis un satellite, de lire les petits caractères d'un journal.

ligne d'horizon s'abaissant d'environ 63 m tous les 100 km, une onde suivant une ligne droite se perdrait dans l'espace.

On comprend ainsi beaucoup mieux l'intérêt des opérateurs pour le satellite et la vitesse d'évolution de ce mode de retransmission !

Plus de répéteurs, plus de maintenance desdits répéteurs, une couverture largement plus importante, une qualité indépendante de la propagation, etc.

Les satellites polaires et géostationnaires

On entend souvent parler des satellites polaires et géostationnaires (voir figures 309, 310 et 311), mais tout le monde ne sait pas quelle est la différence entre l'un et l'autre.

Nombreux sont ceux, encore aujourd'hui, qui se demandent comment ces satellites peuvent se maintenir suspendus dans l'espace sans tomber sur la terre, en défiant les lois de la gravité.

Pour répondre à cette question, la solution la plus simple est de prendre un exemple.

Si l'on donne un coup de pied dans un ballon et qu'on l'envoie vers le haut, on sait qu'il retombera à terre, attiré par la force de gravité.

Si le ballon était en métal, on ne pourrait plus utiliser les pieds pour pouvoir le lancer. Il faudrait un canon, par exemple, pour pouvoir lui fournir une vitesse suffisante.

On sait toutefois que, même en tirant un boulet en l'air à l'aide d'un canon, après quelques kilomètres, il retombera au sol.

Si l'on installait le canon sur un avion pouvant monter à 1 000 km d'altitude, où le frottement de l'air ne pourrait pas influencer la trajectoire du boulet, il parcourrait un grand nombre de kilomètres mais il finirait par retomber au sol.

Si l'on donnait à ce boulet une impulsion suffisamment puissante pour qu'il parcoure, en ligne droite, plusieurs milliers de kilomètres, il poursuivrait sa course vers l'espace, car la terre est ronde.

Pour parvenir à faire tourner ce boulet autour de la terre, il faut lui imprimer une vitesse soigneusement calculée, de façon à ce que la force de gravité parvienne à le faire descendre d'environ 0,63 m tous les kilomètres.

C'est seulement à cette condition qu'il se placerait en orbite circulaire autour de la terre sans jamais retomber à sa surface.

De la même manière, pour maintenir en orbite un satellite, il faut lui imprimer une vitesse bien précise. En effet, si la vitesse était supérieure à celle nécessaire, la force centrifuge lui ferait parcourir des orbites de plus en plus larges et ainsi, il échapperait à l'attraction terrestre pour se perdre dans l'espace. Si la vitesse était inférieure à celle nécessaire, la force de gravité l'attirerait vers la surface de la terre et il finirait par s'y écraser.

La théorie, tout d'abord, puis la pratique, ont démontré qu'un satellite parvient à se maintenir en orbite pendant des dizaines d'années uniquement si on le place à une distance de 300 km minimum de la terre.

C'est pour cette raison que tous les satellites "polaires" tournent autour de notre globe à une distance comprise entre 800 et 1 000 km, et les satellites "géostationnaires" à une distance d'environ 36 000 km.

Rappelons que la vitesse d'un satellite se calcule en fonction de la distance qui le sépare de la terre et non en fonction de son poids. Donc, un satellite de 1 kilogramme et un autre de 900 kg, placés à égale distance de la terre, doivent se déplacer à la même vitesse pour se maintenir en orbite.

Les satellites "polaires", placés à une distance comprise entre 800 et 1 000 km, tournent autour de notre globe à une vitesse d'environ 30 000 km à l'heure, tandis que les satellites "géostationnaires", placés à une distance de 36 000 km tournent autour de notre globe à une vitesse d'environ 11 000 km/h.

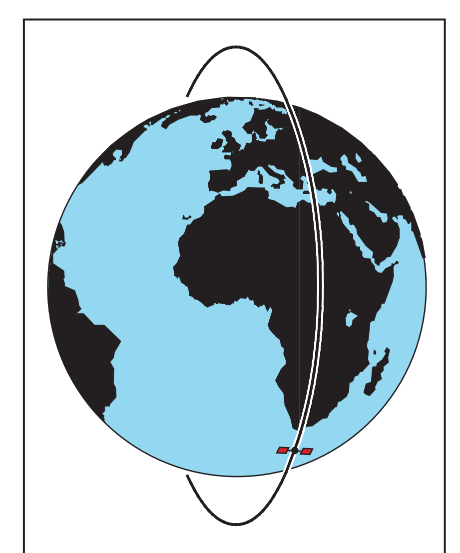


Figure 309 : Les satellites "polaires" utilisés en météorologie et à des fins militaires, tournent autour de la terre avec une orbite circulaire qui passe au-dessus des pôles Nord et Sud. Ces satellites, qui se déplacent à une vitesse d'environ 30 000 km/h, se maintiennent à une distance située entre 800 et 1 000 km.

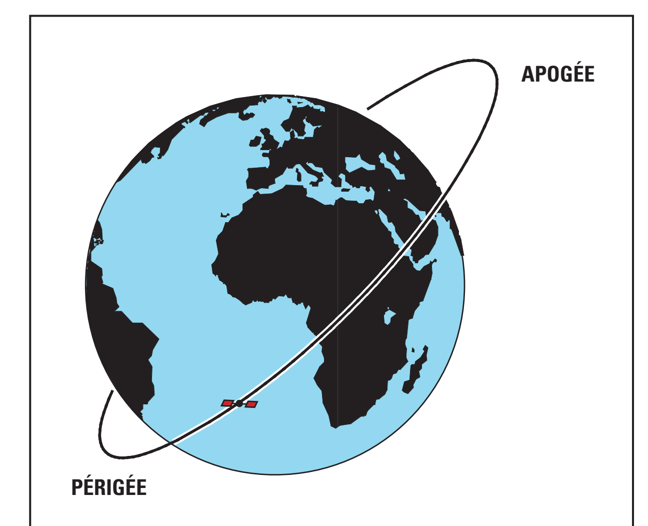


Figure 310 : Il existe des satellites qui tournent autour de notre globe avec une orbite elliptique - ne passant jamais au-dessus des deux pôles. Le point le plus éloigné de notre globe où passe le satellite est appelé "Apogée" tandis que le point le plus proche est appelé "Périgée".

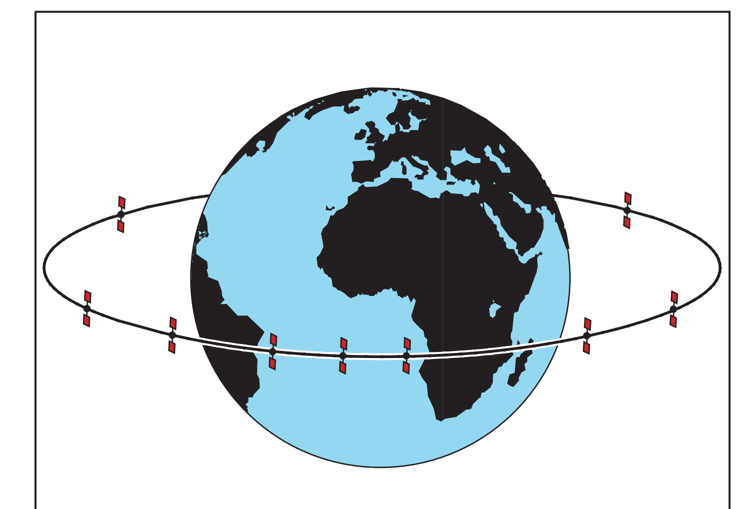


Figure 311 : Les satellites "géostationnaires" TV et météorologiques sont tous situés sur la ligne de l'Equateur, à une distance de 36 000 km. Ces satellites, bien qu'ils se déplacent à une vitesse de 11 000 km/h, semblent immobiles car ils tournent à la même vitesse que la terre.

Les orbites des satellites

Un satellite peut être en orbite autour de la terre avec des mouvements révolutionnaires différents mais respectant toujours la loi de gravitation universelle.

Les satellites "polaires", utilisés en météorologie et à des fins militaires, tournent autour de la terre en passant au-dessus des deux pôles (voir figure 309), ou bien sur une orbite inclinée par rapport à l'équateur, comme on le voit sur la figure 310.

Puisque les satellites "polaires" accomplissent un tour complet en 2 heures environ, on ne peut les recevoir que deux ou trois fois par jour seulement. En effet, comme vous le savez, la terre tourne sur elle-même, en accomplissant un tour complet en 24 heures.

Les satellites "géostationnaires", surtout utilisés pour les transmissions télévisées et en météorologie (par exemple, le satellite Météosat), sont tous placés sur la ligne de l'équateur et, comme ils tournent à une vitesse identique à celle de la terre, on les voit toujours dans la même position, même s'ils se déplacent à 11 000 km/h.

La correction de la vitesse d'un satellite

Même si, vu de la terre, un satellite "géostationnaire" semble toujours immobile en un point fixe du ciel, son orbite subit des variations lentes et continues, causées par la force gravitationnelle de la lune et du soleil. Pour le maintenir sur une position fixe, chaque satellite est donc équipé d'appareils de contrôle automatique qui commandent la correction de la vitesse par de tout petits jets de gaz propulsif, dans le cas où elle augmente ou diminue.

Une fois qu'un satellite est lancé, il reste perpétuellement sous contrôle car, si sa vitesse diminuait, il rentrerait en peu de temps dans l'atmosphère et se désagrégerait. Si, au contraire, sa vitesse augmentait, la force centrifuge l'éloignerait de la terre et il se perdrait alors dans l'espace.

L'éclipse des satellites géostationnaires

Tous les appareils électroniques présents dans un satellite, c'est-à-dire les récepteurs, les émetteurs, les circuits de contrôle, sont alimentés par des cellules solaires et des batteries de réserve qui se mettent automatiquement en fonction chaque fois que le satellite entre dans la zone d'ombre de la terre.

Contrairement à ce que l'on pourrait supposer, le satellite "géostationnaire" reçoit la lumière du soleil même pendant les heures de la nuit. Vous pouvez vous rendre compte par vous-même du phénomène, en regardant tout simplement la lune durant la nuit : elle est toujours illuminée.

Toutefois, pendant 44 jours, de mars à avril, et 44 autres jours, de septembre à octobre, c'est-à-dire pendant les périodes des équinoxes de printemps et d'automne, le satellite est continuellement sujet à des éclipses partielles ou totales d'environ 1 heure. Lorsque l'ombre de la terre masque la lumière aux cellules solaires, les batteries se mettent automatiquement en fonction pour alimenter tous les appareils électroniques de bord.

La température du satellite

Quand un satellite passe de la lumière du soleil à l'ombre projetée par la terre ou vice-versa, la température de sa coque passe de +100 degrés centigrades à –60.

Vous pouvez donc facilement imaginer quels effets désastreux pourraient avoir ces brusques variations thermiques sur les appareils électroniques si ceux-ci n'étaient pas protégés en conséquence grâce à un circuit de conditionnement maintenant une température interne constante.

Nous espérons que grâce à cet exposé vous aurez compris quels problèmes ont dû être résolus par les scientifiques et les techniciens pour lancer dans l'espace les satellites qui aujourd'hui nous permettent de voir les programmes télévisés et de connaître les conditions météorologiques de notre globe.

◆ **G. M.**

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Basse fréquence et haute fréquence

Pour sélectionner un seul émetteur parmi tous ceux qui transmettent sur la gamme d'ondes moyennes, courtes, VHF et UHF, on utilise un circuit d'accord composé d'une inductance et d'une capacité. Dans cette leçon, vous trouverez toutes les formules pour calculer la valeur de l'inductance et de la capacité afin d'accorder un circuit sur une fréquence bien précise.

Nous vous expliquerons, par ailleurs, la relation existant entre "fréquence" et "longueur d'onde", et vous trouverez les formules nécessaires pour pouvoir convertir une fréquence exprimée en Hz, kHz, MHz ou GHz en une longueur d'onde en mètres ou en centimètres, et vice-versa.

Nous avons inclus dans cette leçon de nombreux exemples de calcul, car c'est là la seule façon de comprendre comment les formules doivent être utilisées pour résoudre des problèmes différents.

Puis, nous avons considérablement simplifié les formules pour le calcul des inductances et des capacités, de façon à pouvoir les effectuer avec une calculatrice de poche ordinaire.

Même si nos formules sont critiquables, nous pouvons vous assurer qu'en pratique vous obtiendrez des valeurs réalistes et c'est ce que souhaite un débutant qui n'apprécie pas toujours les mathématiques complexes.

Une tension alternative peut partir d'une fréquence de quelques hertz mais atteindre également une fréquence de plus d'un milliard de hertz. En fonction de leur fréquence, les tensions alternatives se comportent de façon totalement différente les unes par rapport aux autres.

Les fréquences inférieures à 30 000 Hz peuvent se transférer à distance en utilisant deux fils seulement. Le premier exemple qui vient à l'esprit est la tension alternative de 220 volts utilisée pour l'installation électrique domestique, qui a une fréquence de 50 Hz. On peut également citer les tensions utilisées pour faire fonctionner les téléphones, qui ont une fréquence variable allant de 100 à 3 000 Hz, ou encore celles utilisées pour faire fonctionner les enceintes d'un amplificateur Hi-Fi, qui ont une fréquence variable allant de 20 à 20 000 Hz.

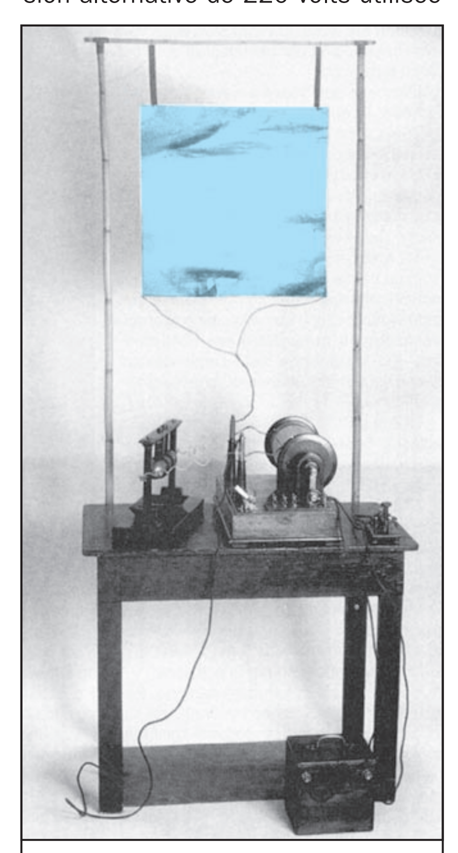


Figure 312 : L'émetteur utilisé par Marconi pour ses expériences était une simple bobine de Ruhmkorff, reliée à une plaque métallique servant d'antenne.

Les fréquences supérieures à 30 000 peuvent être transférées à une distance considérable sans utiliser de fil, comme le découvrit Marconi en 1895 lorsqu'il réussit à transmettre le premier signal radio à une distance d'environ 2 km en utilisant une antenne rudimentaire fabriquée à l'aide d'un bidon de pétrole.

Pour diffuser un signal haute fréquence dans l'espace, il faut l'appliquer à une antenne rayonnante constituée d'un simple fil de cuivre accordé sur la fréquence à transmettre. Le signal haute fréquence parvient à se propager à partir de cette antenne dans toutes les directions à la vitesse de la lumière, c'est-à-dire à 300 000 km par seconde.



Figure 313 : C'est de cette fenêtre de la "Villa Griffone" à Pontecchio, petite ville située près de Bologne, que Marconi envoya son premier signal radio au printemps 1895. La ville fut par la suite rebaptisée et appelée "Sasso Marconi".

Pour recevoir de l'espace les signaux de haute fréquence, on utilise un fil de cuivre que l'on appelle "antenne réceptrice".

Tous les signaux captés par l'antenne sont envoyés à un circuit d'accord qui sélectionne une seule fréquence parmi toutes celles captées dans l'espace.

En admettant que l'antenne soit parvenue à capter plusieurs centaines d'émetteurs et que l'on ne soit intéressé que par la musique de l'émetteur B, transmettant sur la fréquence de 520 000 Hz (520 kHz), on devra régler le circuit d'accord sur 520 000 Hz. Si, par contre, on veut écouter le match de foot de l'émetteur A, transmettant sur une fréquence de 2 400 000 Hz (2,4 MHz), on devra régler le circuit d'accord sur 2 400 000 Hz.

Si les signaux haute fréquence ne possédaient pas ces capacités de propagation dans toutes les directions à travers l'espace, de pouvoir être captés par l'intermédiaire d'une antenne et enfin de pouvoir être sélectionnés grâce à un circuit d'accord, aujourd'hui, nous n'aurions ni la radio, ni la télévision, pas plus que les téléphones portables.



Figure 314 : Une radio moderne est capable de recevoir les émetteurs qui transmettent sur les fréquences grandes ondes, les ondes moyennes et les ondes courtes en AM et ceux qui transmettent en FM dans la gamme VHF. Il n'est pas rare de trouver dans ces récepteurs un magnétophone à cassettes ou un lecteur de "compact disk".

Circuits d'accord

Si on allume la radio sur les ondes moyennes et que l'on s'accorde sur une fréquence de 650 kHz, le circuit interne de notre radio ne sélectionnera que cette fréquence en excluant toutes les autres (voir figure 316).

Si on prend une radio FM et que l'on s'accorde sur la fréquence 101,5 MHz, le circuit interne de notre radio ne captera que l'émetteur qui transmet sur cette fréquence de 101,5 MHz (voir figure 317).

Concrètement, l'inductance est une bobine composée d'un certain nombre de spires. Plus il y a de spires enroulées sur cette bobine, plus l'inductance, exprimée en microhenry (µH), est importante et plus les fréquences sur lesquelles nous pouvons nous accorder sont basses.

Moins il y a de spires enroulées sur la bobine, plus son inductance, toujours exprimée en microhenry, est faible et plus les fréquences sur lesquelles nous pouvons nous accorder sont hautes.

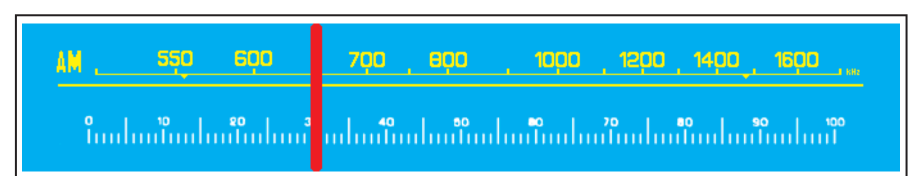


Figure 316 : Lorsqu'on règle le curseur d'une radio AM sur 650 kHz, à l'intérieur un circuit composé d'une bobine et d'une capacité s'accorde exactement sur cette fréquence.

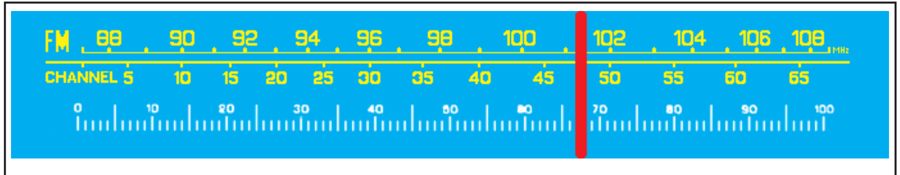


Figure 317 : Lorsque l'on règle le curseur d'une radio FM sur 101,5 MHz, une autre bobine reliée en parallèle avec une capacité différente s'accorde sur cette nouvelle fréquence de 101,5 MHz.

Il en va de même lorsqu'on allume un téléviseur et que l'on veut recevoir l'un des nombreux émetteurs qui diffusent des programmes télé. On règle le circuit d'accord, qui se trouve à l'intérieur du téléviseur, sur la même fréquence que celle utilisée par l'émetteur.

Comme nous l'avons déjà écrit plus haut, pour pouvoir s'accorder sur la fréquence désirée, il faut un circuit composé d'une inductance et d'une capacité (voir figure 318).

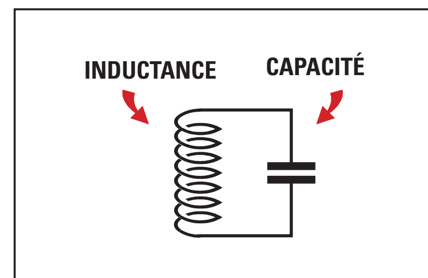


Figure 318 : Un circuit d'accord est composé d'une inductance et d'une capacité reliée en parallèle.





Figure 315 : Les premières radios (1930-1938) ne pouvaient recevoir que les émetteurs qui transmettaient en AM sur les ondes longues et moyennes. Toutes ces vieilles radios avaient besoin d'une antenne et d'une bonne prise de terre.

Même s'il existe des formules pour calculer la valeur théorique d'une inductance par rapport au nombre de spires, souvenez-vous qu'elles ne sont toutefois pas suffisamment fiables, la valeur en microhenry étant variable selon le diamètre du support, le diamètre du fil de cuivre, l'espacement entre spires et le type de noyau ferromagnétique placé dans l'éventuel mandrin.

Comme il existe dans le commerce des inductances de presque toutes les valeurs, il suffit de choisir celle ayant la valeur la plus proche de celle désirée.

Pour la capacité à appliquer en parallèle à cette bobine, on utilisait un condensateur variable. Ce dernier est maintenant remplacé par une diode varicap qui, en raison de ses petites dimensions, permet de réaliser des récepteurs miniaturisés.

Connaissant l'inductance et la capacité, calculer la fréquence

Connaissant la valeur de l'inductance et de la capacité, nous pouvons calculer sur quelle fréquence un circuit s'accorde, en utilisant l'une de ces deux formules :

CALCUL DE LA FRÉQUENCE

$$\text{kHz} = \frac{159\,000}{\sqrt{\text{pF} \times \mu\text{H}}}$$

$$\text{MHz} = \frac{159}{\sqrt{\text{pF} \times \mu\text{H}}}$$

Note : Toutes les formules que vous trouverez ne tiennent pas compte de la tolérance des composants (qui tourne en général autour de 5 %), ni des capacités parasites des fils de raccordement ou des pistes en cuivre gravées sur un circuit imprimé. De ce fait, il apparaîtra donc toujours des différences entre le calcul théorique et le résultat pratique.

Exemple : On veut savoir sur quelle fréquence s'accordera un circuit composé d'une inductance de 100 microhenrys et un condensateur de 220 picofarads (voir figure 319).

Solution : Si on veut connaître la fréquence en kilohertz, on peut utiliser la première formule :

$$159\,000 : \sqrt{220 \times 100} = 1\,071{,}97 \text{ kHz}$$

Si on veut connaître cette même fréquence en mégahertz, on peut utiliser la seconde formule :

$$159 : \sqrt{220 \times 100} = 1{,}07197 \text{ MHz}$$

Exemple : En reliant en parallèle une inductance de 100 microhenrys et un condensateur variable (voir figure 320), présentant une capacité minimale de 20 picofarads complètement ouvert et de 500 picofarads complètement fermé, on veut savoir sur quelle gamme de fréquence en kilohertz ce circuit s'accordera.

Solution : On commence par calculer la fréquence sur laquelle s'accorde le circuit en utilisant la capacité minimale de 20 picofarads :

$$159\,000 : \sqrt{100 \times 20} = 3\,555 \text{ kHz}$$

On calcule ensuite la fréquence sur laquelle s'accorde le circuit en utilisant la capacité maximale de 500 picofarads :

$$159\,000 : \sqrt{100 \times 500} = 711 \text{ kHz}$$

En tournant le condensateur variable de la position "complètement ouvert" à la position "complètement fermé", on peut s'accorder d'une fréquence maximale de 3 555 kHz jusqu'à une fréquence minimale de 711 kHz.

Si on voulait connaître la longueur d'onde en mètres, on devrait utiliser la formule suivante :

Longueur d'onde (en mètre)

300000 : kHz

On pourrait donc recevoir les émetteurs transmettant sur des longueurs d'onde comprises entre 84,38 et 421,94 mètres.

$$300\,000 : 3\,555 = 84{,}38 \text{ m}$$
$$300\,000 : 711 = 421{,}94 \text{ m}$$

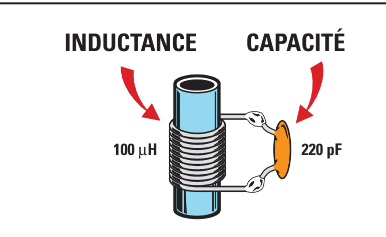


Figure 319 : Une inductance de 100 microhenrys reliée en parallèle avec un condensateur de 220 pF, s'accorde sur 1 071,97 kHz.

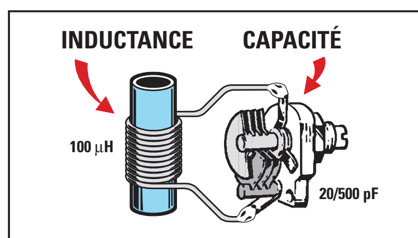
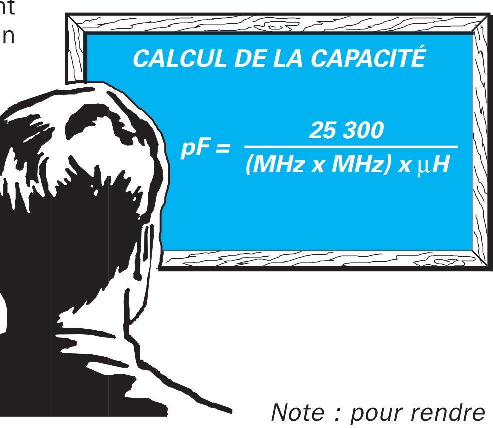


Figure 320 : Si l'on relie en parallèle une capacité variable sur la bobine, on pourra s'accorder sur différentes fréquences.

Connaissant la fréquence et l'inductance, calculer la capacité

Connaissant la valeur d'une inductance et la valeur de la fréquence sur laquelle on veut s'accorder, on peut calculer la valeur de la capacité en picofarads que l'on veut relier en parallèle sur la self, en utilisant cette formule :



Note : pour rendre la formule plus compréhensible, on a préféré écrire "MHz x MHz", plutôt que "MHz au carré".

Exemple : En admettant que l'on ait une inductance de 0,4 microhenry et que l'on veuille réaliser un circuit d'accord capable de capter un émetteur FM transmettant sur une fréquence de 89 MHz, on voudrait savoir quelle capacité relier en parallèle à l'inductance.

Solution : En incluant les données que nous avons dans la formule du calcul de la capacité, on obtient :

25 300 : [(89 x 89) x 0,4]
= 7,98 picofarads

Comme nous l'avons déjà vu, il faut commencer par élever au carré la valeur de la fréquence :

89 x 89 = 7 921

On multiplie ensuite le chiffre obtenu par la valeur de l'inductance, c'est-à-dire 0,4 microhenry :

7 921 x 0,4 = 3 168

On divise ensuite 25 300 par ce résultat :

25 300 : 3 168 = 7,98 picofarads

Etant donné qu'il n'est pas possible de trouver une capacité de 7,98 picofarads, on pourra relier en parallèle sur l'inductance un condensateur ajustable de 3 à 20 picofarads, puis on tournera le curseur, jusqu'à ce que l'on capte l'émetteur transmettant sur 89 MHz.

Ce condensateur ajustable placé en parallèle de la bobine (voir l'exemple de la figure 320), nous permet, en outre, de corriger toutes les tolérances et les capacités parasites du circuit.

Exemple : Ayant une inductance de 180 microhenrys, on veut savoir quelle capacité lui relier en parallèle pour pouvoir nous accorder sur la gamme des ondes moyennes de 1 250 kilohertz.

Solution : Etant donné que notre formule exige que la valeur de la fréquence soit exprimée en MHz, nous devons d'abord convertir les 1 250 kHz en MHz, en les divisant par 1 000 :

1 250 : 1 000 = 1,25 MHz

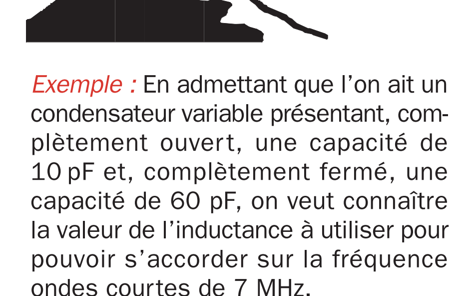
On inclut ensuite cette valeur dans la formule du calcul de la capacité pour obtenir :

25 300 : [(1,25 x 1,25) x 180]
= 89,95 pF

Etant donné qu'il n'est pas possible de trouver cette valeur de capacité, on peut utiliser un condensateur ajustable pouvant varier d'un minimum de 40 pF à un maximum de 100 pF.

Connaissant la fréquence et la capacité, calculer l'inductance

Connaissant la valeur d'une capacité et la valeur de la fréquence sur laquelle nous voulons nous accorder, on peut calculer la valeur de l'inductance en microhenry, en utilisant cette formule :



Exemple : En admettant que l'on ait un condensateur variable présentant, complètement ouvert, une capacité de 10 pF et, complètement fermé, une capacité de 60 pF, on veut connaître la valeur de l'inductance à utiliser pour pouvoir s'accorder sur la fréquence ondes courtes de 7 MHz.

Solution : Pour calculer la valeur de l'inductance, nous devons prendre la valeur moyenne du condensateur ajustable, qui est de :

(60 – 10) : 2 = 25 picofarads

En incluant dans la formule les données que nous avons, on obtient :

25 300 : [(7 x 7) x 25]
= 20,65 microhenrys

En admettant que l'on trouve une inductance de 15 microhenrys, on devra ensuite s'assurer que notre condensateur ajustable nous permette de nous accorder sur la fréquence de 7 MHz.

25 300 : [(7 x 7) x 15)] =
34,42 picofarads

Etant donné que la capacité maximale de ce condensateur ajustable est de 60 picofarads, on ne rencontrera pas de problèmes pour s'accorder sur la fréquence désirée de 7 MHz.

Rapport inductance/capacité

Bien que les calculs théoriques nous confirment qu'en utilisant une toute petite valeur d'inductance et une valeur de capacité très importante, ou vice-versa, il est possible de s'accorder sur n'importe quelle fréquence. En pratique, si l'on ne respecte pas une certaine proportion entre l'inductance et la capacité, on ne parviendra jamais à obtenir un circuit d'accord qui fonctionne.

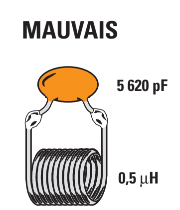
Si, par exemple, on prenait une bobine de 0,5 microhenry, pour calculer, grâce à la formule :

pF =
25 300 : [(MHz x MHz) x microhenry]

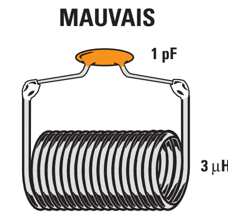
la valeur de la capacité à relier en parallèle à cette bobine pour s'accorder sur 3 MHz, on obtiendrait une valeur de 5 622 picofarads, c'est-à-dire une valeur disproportionnée (voir figure 321).

Si l'on calculait la capacité qu'il faut relier en parallèle à une bobine de 3 microhenrys pour s'accorder sur 90 MHz, on obtiendrait 1 picofarad, c'est-à-dire une valeur dérisoire.

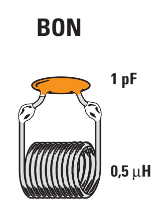
MAUVAIS



MAUVAIS



BON



BON

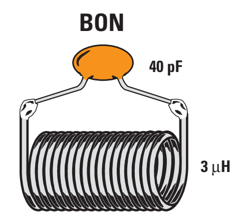


Figure 321 : Même si les calculs théoriques nous confirment que les circuits composés d'une petite bobine ayant une capacité élevée ou bien d'une grande bobine de petite capacité peuvent s'accorder sur n'importe quelle fréquence, pour obtenir un circuit efficace et très sélectif, il faut respecter un certain rapport entre la fréquence, la valeur de la self et la valeur du condensateur.

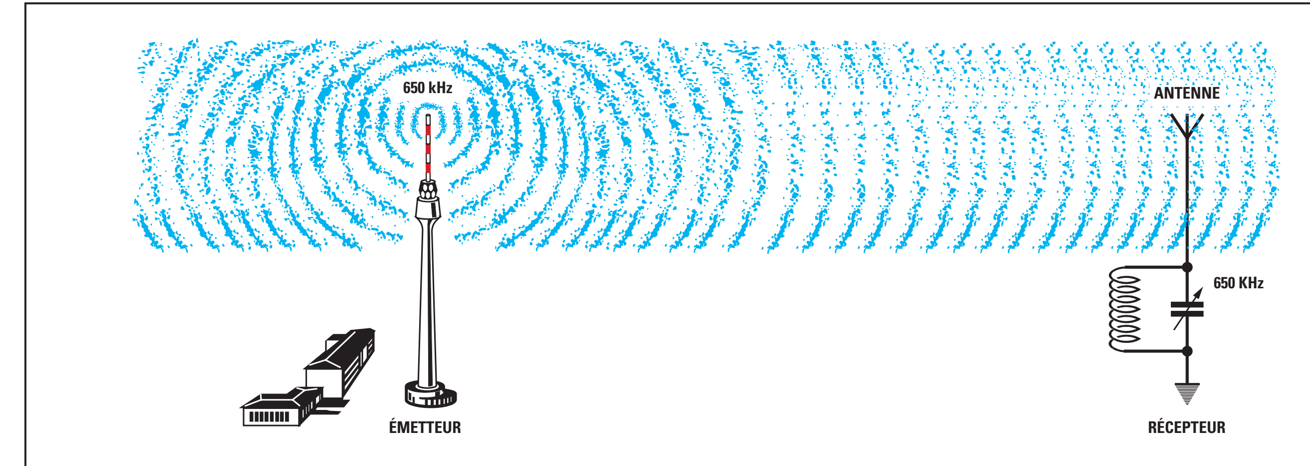


Figure 322 : Pour capter un émetteur, on devra accorder notre récepteur composé d'une bobine et d'une capacité, sur la fréquence exacte utilisée pour la transmission.

Pour obtenir un circuit accordé qui fonctionne, il est nécessaire de respecter un certain rapport entre la valeur de l'inductance et celle de la capacité, par rapport à la fréquence sur laquelle on désire s'accorder.

Pour vous expliquer pourquoi le respect de ce rapport est absolument nécessaire, prenons l'exemple du sel, de l'eau et du cuisinier.

Si un cuisinier met sur le feu une casserole contenant 1 litre d'eau pour faire la soupe, il y mettra seulement une petite quantité de sel, car il sait qu'une plus grande quantité de sel rendrait sa soupe trop salée et donc, immangeable.

S'il met une marmite contenant 20 litres d'eau sur le feu pour préparer le repas d'un groupe, il y versera beaucoup plus de sel car il sait que s'il en utilise la même quantité que dans 1 litre, la soupe sera fade.

Pour choisir une valeur d'inductance adéquate à la fréquence sur laquelle on veut s'accorder, on peut utiliser approximativement les valeurs données dans le tableau 17.

Exemple : Nous avons trois inductances ayant pour valeurs respectives 2, 5 et 10 microhenrys. On veut en utiliser une pour réaliser un circuit qui s'accorde sur 20 MHz. On veut donc savoir quelle inductance choisir parmi les trois pour pouvoir ensuite calculer la valeur de la capacité à lui relier en parallèle.

Fréquence d'accord	Valeur de l'inductance en microhenry
de 150 à 100 MHz	0,1 min - 0,3 max
de 100 à 80 MHz	0,2 min - 0,4 max
de 80 à 50 MHz	0,4 min - 1,0 max
de 50 à 30 MHz	1,0 min - 3,0 max
de 30 à 15 MHz	3,0 min - 7,0 max
de 15 à 7 MHz	10 min - 20 max
de 7 à 3 MHz	20 min - 80 max
de 3 à 1 MHz	60 min - 100 max
de 1 à 0,5 MHz	150 min - 500 max

Tableau 17.

Solution : En regardant le tableau 17, on remarque que l'inductance la plus appropriée est celle qui a une valeur de 5 microhenrys.

Pour calculer la valeur de la capacité, on utilise la formule :

pF =
25 300 : [(MHz x MHz) x microhenry]

Il faut commencer par élever au carré la valeur des MHz : 20 x 20 = 400.

En introduisant le résultat dans notre formule, on obtient la valeur de la capacité :

25 300 : (400 x 5)
= 12,65 picofarads

Couplage inductif et capacitif

Pour transférer le signal capté de l'antenne à la bobine, on peut utiliser un couplage inductif ou un couplage capacitif.

Pour faire un couplage inductif (voir figure 323), il suffit d'enrouler 2, 3 ou 4 spires sur la bobine d'accord, du côté des spires reliées vers la masse (point froid).

Pour faire un couplage capacitif (voir figure 324), il suffit de relier le signal sur le côté de l'enroulement supérieur (point chaud), en utilisant une capacité de quelques picofarads seulement (2, 4,7 ou 10). Dans le cas contraire, si on utilisait des capacités de valeurs trop élevées, elles s'additionneraient à celle du condensateur variable et modifieraient le rapport inductance/capacité.

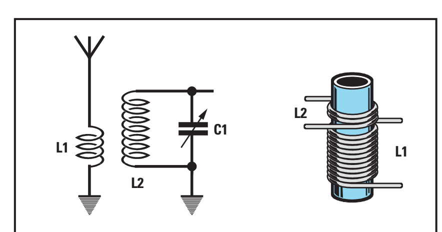


Figure 323 : En enroulant quelques spires (voir L1) sur la bobine L2, on parvient à transférer le signal présent sur la bobine L1 vers la bobine L2 ou vice-versa. Ce couplage s'appelle "inductif" car il se produit entre deux inductances.

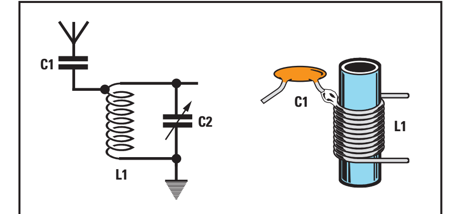


Figure 324 : On obtient un couplage "capacitif" en reliant une petite capacité (voir C1) sur les extrémités de la bobine L1. Si la capacité de C1 est très élevée, elle s'ajoutera à celle de C2 en modifiant le rapport inductance/capacité.

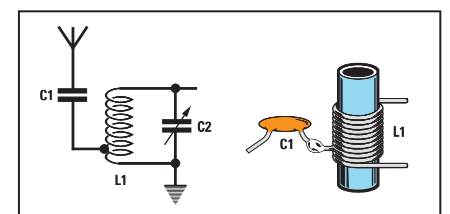


Figure 325 : Pour empêcher la capacité du condensateur C1 d'influencer les caractéristiques du circuit d'accord, on le relie sur une prise placée sur la partie inférieure de L1. De cette façon, le rapport L1/C2 est moins influencé.

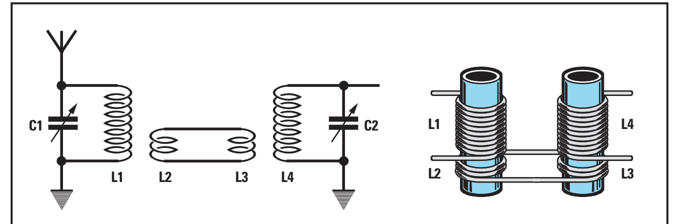


Figure 326 : Un signal HF se trouvant sur la bobine L1, peut le transférer par voie inductive sur la bobine L4 grâce aux deux bobines L2 et L3, composées de deux ou trois spires.

Figure 327 : Pour transférer par voie capacitive un signal HF de la bobine L1 vers la bobine L2, on peut relier sur leurs extrémités un condensateur de quelques pF.

Prise intermédiaire sur la bobine

Dans les schémas électriques de différents récepteurs (nous vous proposerons tout au long de ce cours plusieurs circuits), le signal est souvent prélevé par une prise intermédiaire de la bobine ou bien à son extrémité.

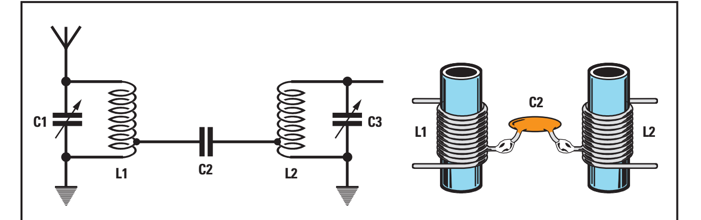


Figure 328 : Pour éviter que le condensateur de couplage C2 n'influence le rapport L/C des deux bobines, il est préférable de le relier sur une prise inférieure.

Mais quel avantage peut-on tirer en prenant le signal par une prise intermédiaire ou à son extrémité ?

Pour vous l'expliquer, nous allons comparer la bobine d'accord à l'enroulement secondaire d'un transformateur d'alimentation (voir figure 329).

Si, par exemple, un transformateur d'une puissance de 5 watts est capable de nous fournir une tension de 1 volt sur le secondaire pour chaque spire enroulée, il est évident qu'en enroulant 100 spires, on pourra prélever une tension de 100 volts à ses bornes.

Note : la valeur de 1 volt par spire est théorique et sert uniquement à simplifier les calculs et à rendre ainsi l'exemple plus simple. Pour savoir comment calculer le nombre de spires par volt, vous pouvez lire la leçon numéro 8.

Si l'on fait deux prises sur l'enroulement de 100 spires, une à la 50ème spire et une autre à la 10ème, il est évident que l'on y prélèvera une tension de 50 volts et de 10 volts (voir figure 329).

Etant donné que la puissance du transformateur est de 5 watts, lorsque la tension subit une variation, le courant maximal varie également, comme nous le confirme la Loi d'Ohm :

ampère = watt : volt

En effet, si l'on essaie de calculer la valeur du courant, on voit que sur les trois prises de 100, 50 et 10 volts, on peut prélever :

5 watts : 100 volts = 0,05 ampère
5 watts : 50 volts = 0,1 ampère
5 watts : 10 volts = 0,5 ampère

Donc, plus on prélèvera de tension, moins on disposera de courant et moins on prélèvera de tension, plus on disposera de courant.

Cette règle vaut également dans le cas d'une bobine d'accord, bien qu'il n'y ait sur celle-ci ni volts, ni ampères, ni watts, mais des valeurs considérablement inférieures évaluées en microvolts, microampères et microwatts.

Donc, si l'on prélève le signal sur l'extrémité supérieure de l'enroulement on aura une tension élevée et un courant dérisoire, tandis que si on le prélève là où il y a peu de spires, on aura une tension basse et un courant important.

Pour pouvoir exploiter toute la puissance disponible sur la bobine, on doit appliquer sur ces prises une "charge résistive" d'une valeur bien précise que l'on calcule grâce à cette formule :

ohm = volt : ampère

Si l'on compare la bobine au transformateur d'alimentation utilisé précédemment comme exemple, c'est-à-dire d'une puissance de 5 watts et avec un secondaire de 100, 50 ou 10 spires, la "charge résistive" la plus appropriée à appliquer sur les sorties de ces enroulements devrait avoir cette valeur ohmique :

100 volts : 0,05 ampère = 2 000 ohms
50 volts : 0,1 ampère = 500 ohms
10 volts : 0,5 ampère = 20 ohms

Si on relie sur la prise des 100 volts une résistance de 2 000 ohms, on prélèvera une puissance égale à :

watt = (ampère x ampère) x ohm

c'est-à-dire :

(0,05 x 0,05) x 2 000 = 5 watts

Si on relie à cette prise une résistance de 500 ohms, on prélèvera une puissance inférieure :

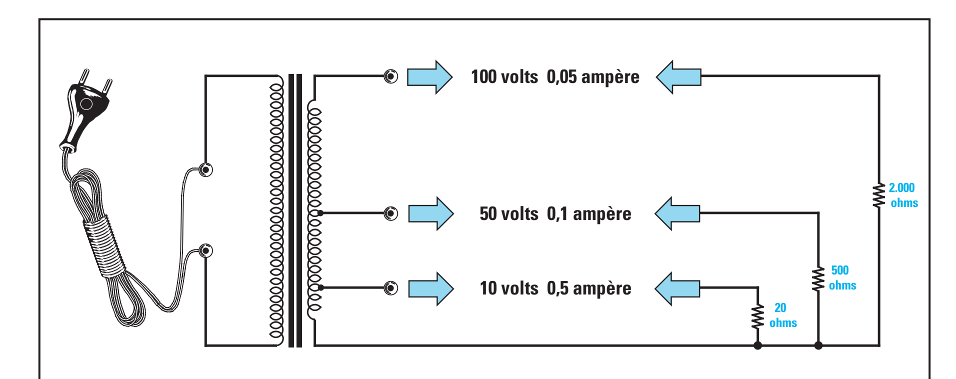


Figure 329 : Pour prélever la puissance maximale de l'enroulement secondaire d'un transformateur d'alimentation muni de plusieurs prises, on devra relier une "charge" n'absorbant pas plus de courant que celui pouvant être débité par le transformateur.

(0,05 x 0,05) x 500 = 1,25 watt

et on perdra par conséquent : 5 – 1,25 = 3,75 watts.

Si on relie à cette prise une résistance de 20 ohms, on prélèvera une puissance encore inférieure :

(0,05 x 0,05) x 20 = 0,05 watt

et on perdra par conséquent : 5 – 0,05 = 4,95 watts.

Si, au contraire, on relie la charge des 20 ohms à la prise des 10 volts capable de débiter un courant de 0,5 ampère, on prélève :

(0,5 x 0,5) x 20 = 5 watts

c'est-à-dire toute la puissance que le transformateur est capable de débiter.

Si on relie sur la prise des 10 volts la résistance de 2 000 ohms, on ne prélèvera plus un courant de 0,5 ampère, mais un courant considérablement inférieur, que l'on pourra calculer avec la formule :

ampère = volt : ohm

c'est-à-dire un courant de :

10 : 2 000 = 0,005 ampère

on prélèvera donc une puissance de seulement :

(0,005 x 0,005) x 2 000 = 0,05 watt

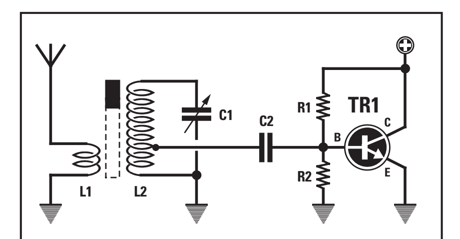


Figure 331 : Les transistors courants ayant une "base" de faible résistance, ils doivent être reliés sur une prise intermédiaire de L2.

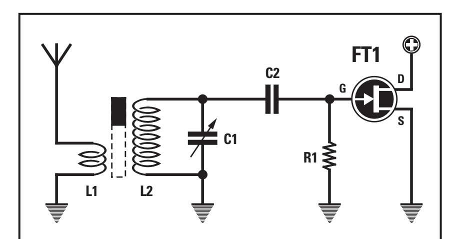


Figure 332 : Les transistors à effet de champ (FET), dont le "gate" (porte) présente une grande résistance, peuvent être directement reliés sur l'extrémité de la bobine L2.

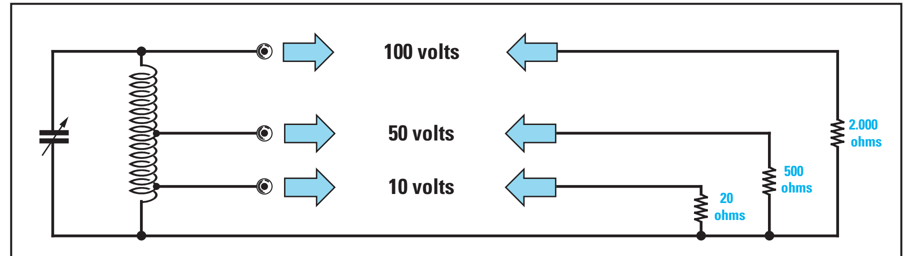


Figure 330 : On trouve également sur la prise supérieure d'un circuit d'accord L/C un signal ayant une tension élevée et un faible courant et sur la prise inférieure, un signal ayant une tension basse et un courant élevé. En appliquant une charge exacte, la puissance ne change pas.

Grâce à ces exemples, nous avons appris que si la résistance de charge a une valeur ohmique importante, il faut prélever le signal sur la prise qui débite la plus grande tension et le courant le plus faible. Si au contraire la résistance de charge a une faible valeur ohmique, il faut prélever le signal sur la prise qui débite une tension faible et un courant plus important.

C'est pour cette raison que les transistors, qui ont une résistance faible, sont toujours reliés à une prise intermédiaire de la bobine d'accord (voir figure 331), tandis que les transistors à effet de champ (FET), qui ont une résistance importante, sont toujours reliés à la prise de l'extrémité (voir figure 332).

Le noyau placé à l'intérieur de la bobine

A l'intérieur du support plastique de presque toutes les bobines d'accord se trouve un noyau ferromagnétique nous permettant de faire varier la valeur de l'inductance.

Si on dévisse ce noyau (voir figure 333), l'inductance de la bobine diminue, tandis que si on le visse (voir figure 334), l'inductance de la bobine augmente.

Ce noyau est inséré à l'intérieur de la bobine pour pouvoir modifier la valeur de son inductance de façon à pouvoir la régler sur la valeur voulue.

En admettant que l'on ait besoin d'une inductance de 2,35 microhenrys dans un circuit d'accord et que l'on trouve dans le commerce des bobines de 2 microhenrys uniquement, on pourra tout simplement les utiliser en vissant leur noyau jusqu'à ce que l'on atteigne la valeur de 2,35 microhenrys.

Si on réussissait à trouver des bobines de 3 microhenrys dans le commerce, on pourrait également les utiliser en dévissant leur noyau jusqu'à obtenir une valeur de 2,35 microhenrys.

Dans l'une des prochaines leçons, lorsque nous vous expliquerons comment monter un récepteur, nous vous enseignerons comment procéder pour calibrer ces bobines sur la valeur voulue.

Fréquence et longueur d'onde

On lit souvent que pour recevoir un émetteur "X" il est nécessaire d'accorder le récepteur sur une fréquence de 1 000 kilohertz ou bien sur une longueur d'onde de 300 mètres.

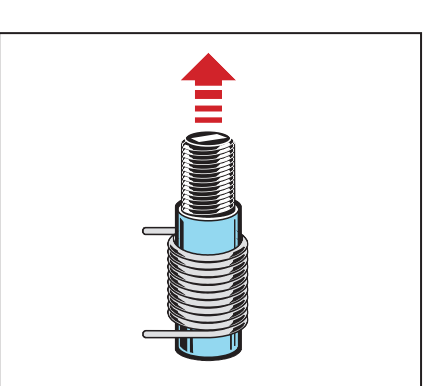


Figure 333 : Si l'on dévisse le noyau ferromagnétique qui se trouve à l'intérieur d'une bobine, on "diminue" la valeur en microhenry de l'inductance.

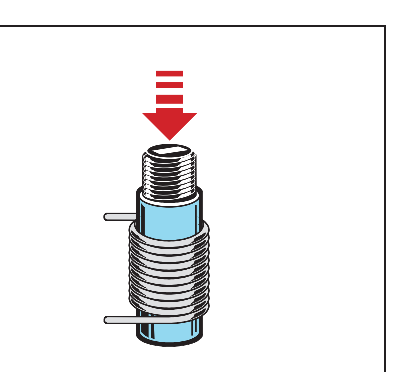


Figure 334 : Si l'on visse ce même noyau, on "augmente" la valeur en microhenry. Ce noyau sert à calibrer la bobine sur une valeur précise.

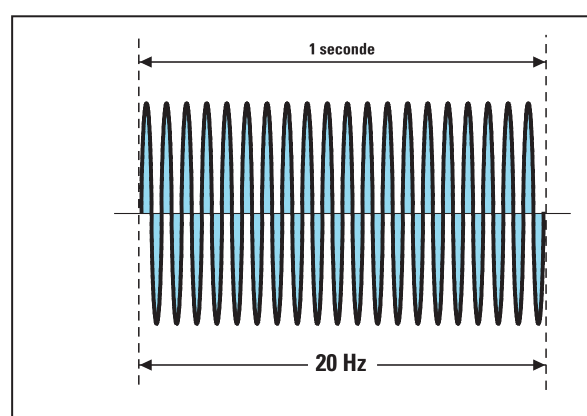


Figure 335 : La “fréquence” indique le nombre d’ondes sinusoïdales présentes en une seconde. Le hertz est l’unité de mesure et les kHz, MHz et GHz, sont ses multiples.

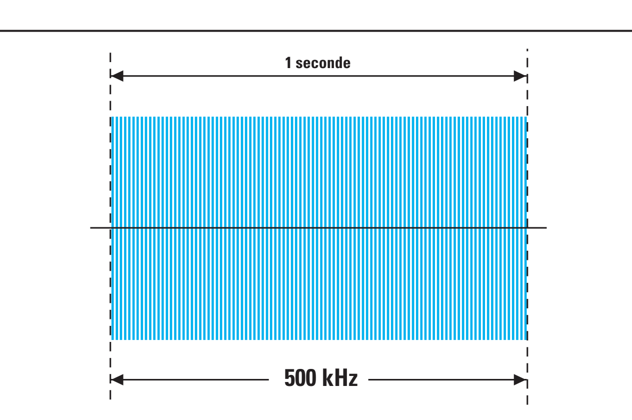


Figure 336 : Plus la valeur en Hz, kHZ et MHz, augmente, plus le nombre de sinusoïdes en une seconde augmente. Une fréquence de 500 kHz irradie 500 000 sinusoïdes en 1 seconde.

Dans les lignes qui vont suivre, nous vous expliquons la relation entre fréquence et longueur d’onde.

La fréquence est le nombre d’ondes présentes dans une seconde, exprimé en hertz, kilohertz, mégahertz ou gigahertz (voir les figures 335 et 336).

La longueur d’onde est la distance qui sépare le début de la fin d’une seule onde sinusoïdale exprimée en mètres ou en centimètres (voir figure 337).

Parler de 10 kilohertz équivaut à parler de 10 000 sinusoïdes rayonnées en l’espace d’une seconde, tout comme parler de 80 mégahertz équivaut à parler de 80 000 000 de sinusoïdes rayonnées en 1 seconde.

Formules servant à convertir la fréquence en longueur d’onde

Connaissant la fréquence exprimée en Hz, kHz, MHz ou GHz, on peut calculer la longueur d’onde en mètres ou en centimètres, en utilisant les formules du tableau 18.

Exemple : Dans notre zone, nous recevons deux émetteurs TV, l’un transmettant sur une fréquence de 175 MHz et l’autre transmettant sur 655 MHz. Nous voulons connaître leur longueur d’onde.

Solution : Puisque les deux fréquences sont exprimées en MHz, on doit utiliser la formule de la troisième ligne du tableau 18. La longueur d’onde de ces émetteurs sera donc de :

300 : 175 = 1,71 mètre

300 : 655 = 0,45 mètre

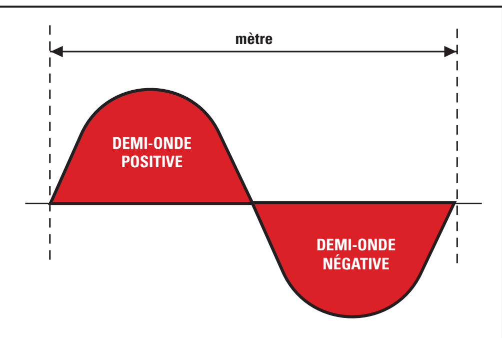


Figure 337 : La “Longueur d’onde” est la distance en kilomètres, mètres ou centimètres, qui sépare le début et la fin d’une SEULE et complète sinusoïde composée de ses deux alternances.

Exemple : Sachant que les émetteurs FM couvrent une bande de fréquences allant de 88 MHz à 108 MHz, on veut connaître la longueur d’onde correspondant à cette gamme.

Solution : Puisque les fréquences sont exprimées en MHz, nous devons également utiliser la formule de la troisième ligne du tableau 18. La longueur d’onde utilisée par ces émetteurs est donc comprise entre :

300 : 88 = 3,40 mètres

300 : 108 = 2,77 mètres

Exemple : Sachant que notre récepteur couvre une gamme d’ondes moyennes allant d’un minimum de 500 kHz jusqu’à un maximum de 1 600 kHz, on veut connaître la longueur d’onde correspondant à cette gamme.

Solution : Puisque les fréquences sont exprimées en kHz, on doit, dans ce cas, utiliser la formule de la seconde ligne du tableau 18. La longueur d’onde correspondant aux ondes moyennes est comprise entre :

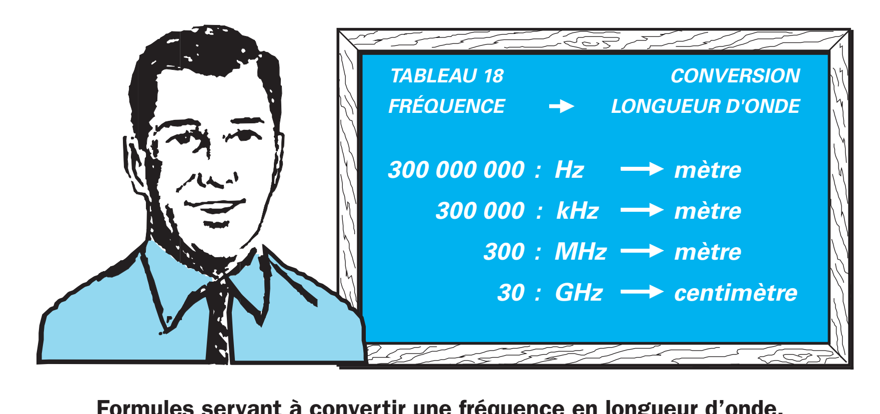
300 000 : 500 = 600 mètres

300 000 : 1 600 = 187,5 mètres

Connaître la longueur d’onde en mètres d’une fréquence peut nous servir pour calculer la longueur physique d’une antenne.

Formules servant à convertir la longueur d’onde en fréquence

En connaissant la longueur d’onde, mesurée en mètres ou en centimètres, nous pouvons calculer la fréquence en



Formules servant à convertir une fréquence en longueur d’onde.

utilisant les formules données dans le tableau 19.

Exemple : Sachant qu'un émetteur CB transmet sur une longueur d'onde de 11,05 mètres, nous voulons connaître la fréquence exacte en kilohertz et en mégahertz.

Solution : Pour connaître la fréquence en kilohertz, on utilise la formule indiquée sur la deuxième ligne du tableau 19 :

300 000 : 11,05 = 27 149 kHz

Pour connaître la fréquence en mégahertz, on doit utiliser la formule indiquée sur la troisième ligne :

300 : 11,05 = 27,149 MHz

Note : Exprimer une valeur en kHz ou en MHz équivaut à exprimer un poids en kilogrammes ou en quintaux.

Exemple : Nous voulons connaître la fréquence en mégahertz d'un signal ayant une longueur d'onde de 40 mètres.

Solution : pour obtenir la fréquence en MHz, on utilise toujours la formule de la deuxième ligne du tableau 19 :

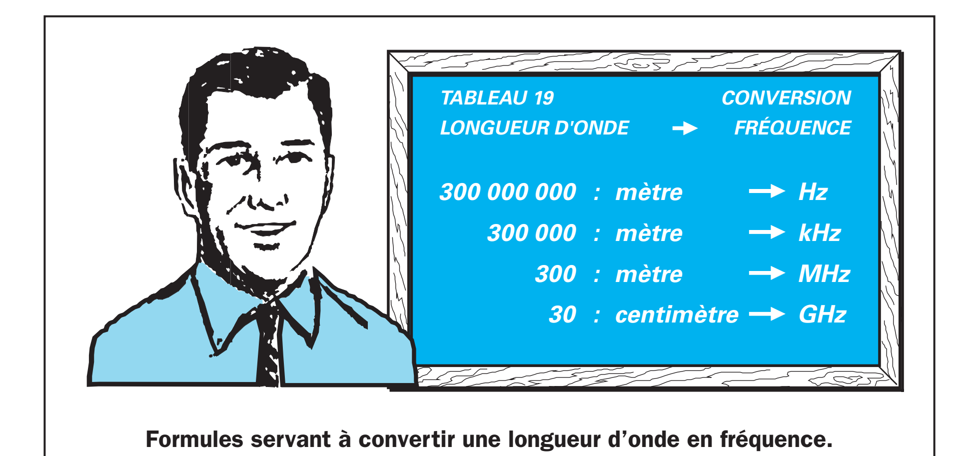
300 : 40 = 7,5 MHz

Unité de mesure

Les signaux basse fréquence qui couvrent une gamme allant de 1 Hz jusqu'à 30 000 Hz, sont toujours indiqués avec les unités de mesure en hertz ou en kilohertz (kHz).

Pour convertir les hertz en kilohertz ou vice-versa, nous pouvons utiliser les formules suivantes :

kHz x 1 000 = Hz
Hz : 1 000 = kHz



Formules servant à convertir une longueur d'onde en fréquence.

Exemple : Pour convertir une fréquence de 3,5 kilohertz en hertz, il faut effectuer cette simple multiplication :

3,5 x 1 000 = 3 500 hertz

Exemple : Pour convertir une fréquence de 10 000 hertz en kilohertz, on doit effectuer cette simple division :

10 000 : 1 000 = 10 kilohertz

Tous les signaux basse fréquence voyagent dans un câble à la même vitesse qu'un signal de haute fréquence, c'est-à-dire à 300 000 km par seconde.

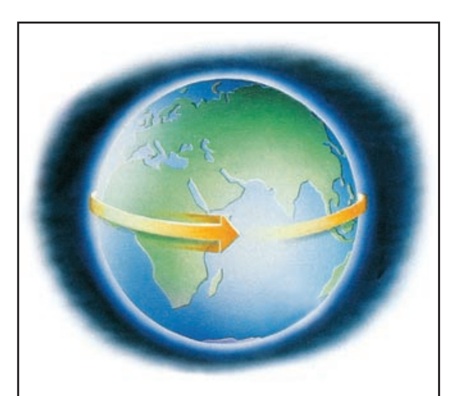


Figure 338 : Les signaux radio se propageant à une vitesse de 300 000 km par seconde, réussissent à parcourir 7,5 tours du globe en une seule seconde. Un signal envoyé vers la lune, qui se trouve à 384 345 km de la terre, l'atteint en un peu plus d'une seconde.

Lorsque ce signal est transformé en sons acoustiques par un haut-parleur, les vibrations sonores rayonnent dans l'air à la vitesse de 340 mètres par seconde seulement.

Les vibrations sonores ne réussissent jamais à parcourir des distances élevées car, plus on s'éloigne de la source, plus elles s'atténuent.

Les signaux haute fréquence sont normalement indiqués en kilohertz, mégahertz ou gigahertz.

Pour convertir les hertz en kHz, MHz et GHz ou vice-versa, on peut utiliser les formules suivantes :

Hz : 1 000 = kilohertz
Hz : 1 000 000 = mégahertz
Hz : 1 000 000 000 = gigahertz

kHz x 1 000 = hertz
kHz : 1 000 = mégahertz
kHz : 1 000 000 = gigahertz

MHz x 1 000 000 = hertz
MHz x 1 000 = kilohertz
MHz : 1 000 = gigahertz

GHz x 1 000 = mégahertz
GHz x 1 000 000 = kilohertz

Comme nous le savons déjà, les signaux de haute fréquence voyagent dans l'espace à une vitesse vertigineuse de 300 000 000 mètres par seconde, c'est-à-dire 300 000 kilomètres par seconde.

Subdivision des fréquences radio

Fréquence	Longueur d'onde	Symb.	Anglais	Français
30 kHz - 300 kHz	10 km - 1 km	LF	Low Frequency	Grandes Ondes
300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m	MF	Medium Frequency	Ondes Moyennes
3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m	HF	High Frequency	Ondes Courtes
30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m	VHF	Very High Freq.	Ondes métriques
300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	UHF	Ultra High Freq.	Ondes décimétriques
3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	SHF	Super High Freq.	Micro-ondes
30 GHz - 300 GHz	1 cm - 0,1 cm	EHF	Extremely High Freq.	Micro-ondes



Figure 339 : Les premières valves thermo-ioniques (ou thermoïonique, synonyme de thermoélectronique) utilisées pour la réalisation des récepteurs radio, apparurent vers 1910. Marconi, pour capter les signaux, utilisait des détecteurs rudimentaires, constitués d'un petit tube de verre contenant de la limaille de nickel (96 %) et d'argent (4 %). Sur la photo, un des premiers récepteurs radio à valve thermo-ionique.

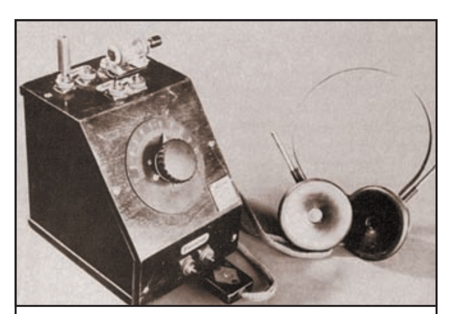


Figure 340 : Dans les années 1925-1940, on rencontrait fréquemment un simple récepteur radio doté d'un casque et dit à "galène", car il utilisait comme détecteur de signaux un minéral de sulfure naturel de plomb contenant environ 2 % d'argent.

Les abréviations AF (BF) et RF (HF)

Les signaux inférieurs à 30 000 Hz, rentrent dans la catégorie des "Basses Fréquences" ou "BF".

Les signaux supérieurs à 30 000 Hz, sont appelés "Hautes Fréquences" ou "HF".

Dans le langage international, les sigles BF et HF sont remplacés par ceux dérivés de la langue anglo-saxonne, c'est-à-dire :

- AF (Audio Frequency) pour les signaux BF,
- RF (Radio Frequency) pour les signaux HF.

◆ **G. M.**

Un peu d'histoire sur Guglielmo Marconi



Peu de gens savent que Guglielmo Marconi était un autodidacte et qu'il s'amusait en réalisant des expériences au rez-de-chaussée de sa maison de Pontecchio, qu'il appelait "my laboratory of electricity". Cela s'explique car Marconi, pourtant né à Bologne, n'aimait pas la langue italienne, qu'il maîtrisait très mal et ne parlait que le dialecte de la région ainsi que l'anglais. N'oublions pas que nous étions à la fin des années 1800 !

N'ayant jamais réussi à finir les études qui lui auraient permis d'entrer à l'université, son père le considérait comme un fainéant et trouvait que son idée de vouloir transmettre à distance des signaux télégraphiques "sans aucun fil" n'était qu'utopie.

Seule sa mère lui permit de se consacrer librement à ses expériences qui suscitaient en lui tant d'attraction. Elle chargea même le professeur Vincenzo Rosa de lui donner des leçons particulières de physique.

En s'inspirant des expériences du physicien américain Benjamin Franklin, qui réussissait à capturer l'énergie des éclairs, grâce à un fil relié à un cerf-volant, une nuit de la fin de l'été 1894, Marconi relia deux plaques métalliques provenant d'un bidon de pétrole à son émetteur ainsi qu'à son récepteur et constata, à l'aide de ces antennes rudimentaires, qu'en poussant le bouton de son émetteur, la cloche reliée au récepteur commençait à sonner.

En proie à une grande agitation, il alla réveiller sa mère pour lui démontrer qu'il avait réussi à capturer l'énergie générée par son émetteur à une distance de 3 mètres environ.

Pressentant qu'il était sur la bonne voie, il commença au printemps 1895 à transmettre de sa chambre vers la cour, et relia ensuite son récepteur et son émetteur à la terre afin d'augmenter la portée. Grâce à ces modifications, il réussit durant l'été 1895 à transmettre à une distance de 2,4 kilomètres.

Sa mère pensa alors informer les autorités italiennes de cette sensationnelle découverte, mais ne recevant aucune réponse, elle décida, en février 1896, de se rendre à Londres avec son fils. Le 5 mars 1896, Marconi présenta sa première demande de brevet pour la transmission des ondes hertziennes "sans fils" qui lui fut accordée le 2 juillet 1897 avec le numéro 12.039.

Après l'exaltation des premiers succès, cette invention suscita un enthousiasme universel, même si, pour commencer, l'incrédulité et les commentaires malveillants ne manquèrent pas en raison du fait que peu de gens acceptaient l'idée qu'un aussi jeune autodidacte ait pu réussir à transmettre des signaux télégraphiques sans utiliser aucun fil. En effet, par le passé, de nombreux scientifiques très célèbres étaient arrivés, après avoir tenté cette expérience, à la conclusion que c'était chose impossible et pratiquement irréalisable.

25 avril 1874 : il naît à Bologne de mère irlandaise, Annie Jameson, et de Giuseppe Marconi.

Eté 1894 : il parvient, de sa chambre de la maison de Pontecchio, à transmettre à environ 3 mètres.

Printemps 1895 : il commence à transmettre de sa fenêtre vers la cour avec d'excellents résultats.

5 mars 1896 : il présente, à Londres une première demande de brevet pour son invention de transmission sans fils.

Mai 1897 : il réussit, grâce aux premières expériences effectuées dans le Canal de Bristol (Angleterre), à atteindre une distance de 14 mètres.

Janvier 1901 : première liaison à longue distance entre Sainte Catherine et Cap Lizard en Angleterre (300 km).

Décembre 1901 : les premiers signaux télégraphiques sont reçus outre Atlantique, franchissant une distance d'au moins 3 400 km.



26 mars 1930 : il envoie un signal télégraphique à Sydney (Australie), du navire Electra amarré dans le port de Gênes, pour allumer les lampadaires de la mairie (distance de 16 500 km).

19 novembre 1931 : Marconi effectue les premières expériences sur les micro-ondes de San Margherita Ligure à Sestri Levante (18 km).

20 juillet 1937 : il meurt à Rome en léguant au monde une invention qui nous permet encore aujourd'hui de regarder la télévision couleurs et de parler à distance grâce aux téléphones portables.

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Dans le domaine de l'électronique comme dans beaucoup d'autres domaines, la théorie seule ne vous permettra pas de devenir de véritables experts. Donc, chaque fois que cela sera nécessaire, nous vous proposerons des montages ou des expériences simples afin de vous permettre de faire un peu de pratique.

Aujourd'hui, pour faire suite au cours que nous venons de voir, nous vous proposons deux montages :

- Une barrière de rayons à infrarouges. Elle servira uniquement à éteindre une diode LED ordinaire lorsqu'une personne ou un objet viendra interrompre le faisceau invisible. En réalisant ce montage, vous apprendrez à utiliser de façon pratique les diodes zener, les diodes émettrices et réceptrices d'infrarouges et de nombreux autres composants.

- Un récepteur simple pour ondes moyennes. Vous serez surpris de constater que ce tout petit appareil, entièrement construit de vos propres mains, vous permettra, dans la journée, de recevoir les émetteurs locaux et la nuit, différents émetteurs étrangers. Même si vous ne connaissez pas encore certains composants que nous utiliserons pour réaliser ce récepteur, ne vous en faites pas, car si vous suivez attentivement toutes nos instructions, vous réussirez parfaitement à le faire fonctionner.

UNE BARRIÈRE À RAYONS INFRAROUGES

Étage émetteur

L'étage émetteur, que vous pouvez voir sur la figure 342, est composé d'une diode à infrarouges émettrice de type CQX89, indiquée sur le schéma par DTX, ainsi que d'un circuit intégré NE555, représenté sur le schéma par le rectangle IC1.

Le circuit intégré NE555 est utilisé dans ce circuit pour générer des ondes carrées qui serviront à coder le signal à infrarouges que la diode émettrice enverra vers le récepteur.

En codant ce signal, vous éviterez que le récepteur ne s'excite avec de faux signaux comme ceux émis par des lampes à filament ou à infrarouge.

La fréquence générée par le circuit intégré NE555 est déterminée par la valeur de la résistance R2 de 27 kilohms et par celle de la capacité C1 de 3,3 nanofarads.

En tenant compte des tolérances de R2 et C1, on peut affirmer que cet oscillateur est capable de générer une fréquence qui descendra difficilement en dessous de 7 100 Hz et dépassera difficilement 7 500 Hz.

En émission, la diode à infrarouge CQX89 ne diffusant aucune lumière visible, nous lui avons relié en série une diode LED normale, DL1.

Lorsque vous verrez cette diode LED allumée, cela voudra dire que la diode à infrarouges sera en train d'émettre.

Cet émetteur fonctionne avec une tension d'alimentation de 15 volts, que vous pourrez prélever de l'alimentation décrite dans la leçon numéro 7.

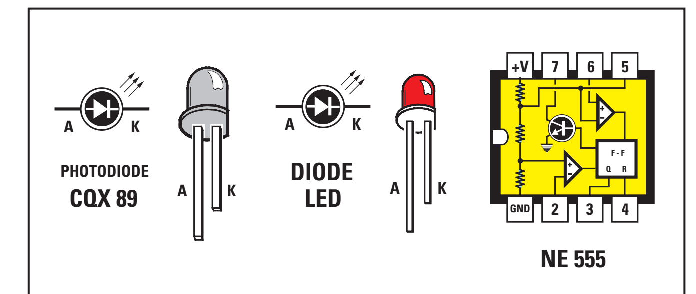


Figure 341 : Vue de dessus des connexions du circuit intégré NE555. Concernant la photodiode et la diode LED, souvenez-vous que l'anode et la cathode correspondent respectivement à la patte la plus longue et à la plus courte.

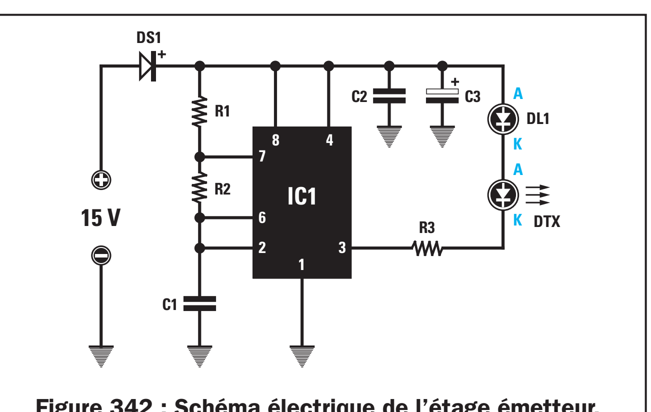
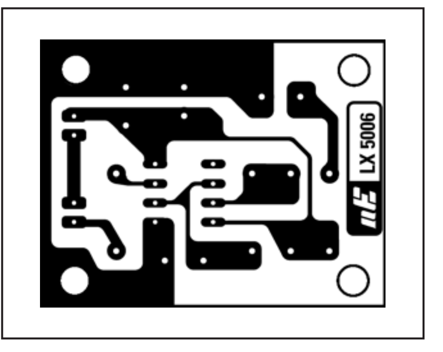


Figure 342 : Schéma électrique de l'étage émetteur.



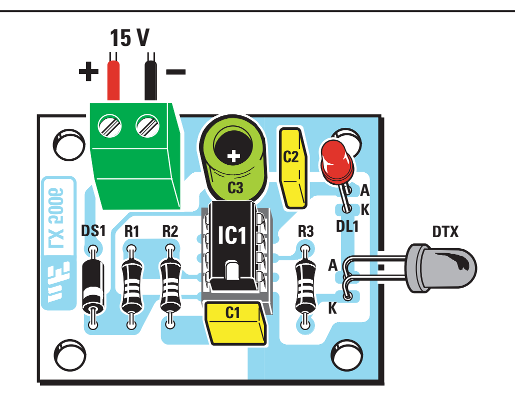


Figure 343 : Schéma d'implantation des composants de l'étage émetteur de rayons infrarouges. Les pattes les plus longues des diodes doivent être insérées sur le circuit imprimé, dans les trous indiqués avec la lettre "A".

La diode DS1, placée en série sur le fil d'alimentation positif, sert à protéger le circuit d'éventuelles inversions de polarité des 15 volts. Si, par erreur, vous reliez le négatif de l'alimentation sur la broche positive, la diode empêchera la tension d'atteindre le circuit intégré ainsi que les deux diodes DL1 et DTX.

Étage récepteur

Le récepteur (voir figure 345) utilise comme capteur une diode réceptrice TIL78, sensible aux rayons infrarouges, ainsi que deux étages amplificateurs, le premier étant un FET (voir FT1) et le second un transistor NPN (voir TR1), plus un décodeur de fréquence, représenté sur le schéma électrique par un rectangle noir appelé IC1 (un NE567).

Lorsqu'une fréquence comprise entre 7 000 et 7 500 Hz atteint la broche d'entrée 3 de ce décodeur, la broche de sortie 8 se court-circuite vers la masse et, par conséquent, la diode LED DL1 s'allume.

Ceci étant dit, nous pouvons maintenant vous expliquer comment fonctionne ce récepteur, en commençant par la diode réceptrice à infrarouges, DRX.

En dirigeant la diode DRX vers la diode émettrice DTX, celle-ci captera le signal à infrarouge que nous avons codé avec une fréquence comprise entre 7 100 et 7 500 Hz. La fréquence captée sera appliquée, par l'intermédiaire du condensateur C2, sur la "gate" (porte) du FET FT1 pour qu'elle soit amplifiée.

Nous avons relié, sur le "drain" de ce FET, un circuit accordé sur la fréquence comprise entre 7 100 et 7 500 Hz, composé de la self JAF1 de 10 millihenrys, du condensateur C4 de 47 nanofarads et de la résistance R4 de 1 kilohm.

Pour savoir sur quelle fréquence est accordé ce circuit composé de JAF1 et C4, on peut utiliser la formule :

$$\text{Hz} = 159\,000 : \sqrt{\text{nanofarad} \times \text{millihenry}}$$

En insérant nos données dans la formule indiquée ci-dessus, on obtient une fréquence d'accord de :

$$159\,000 : \sqrt{47 \times 10} = 7\,334 \text{ Hz}$$

La résistance R4 de 1 kilohm, placée en parallèle sur le circuit accordé, servira à élargir la bande passante de façon à laisser passer toutes les fréquences allant d'un minimum de 7 100 à un maximum de 7 500 Hz.

Le signal amplifié qui se trouve sur le "drain" du FET FT1 sera prélevé par l'intermédiaire du condensateur C6, puis appliqué sur la base du transistor TR1 qui l'amplifiera ultérieurement.

Sur le collecteur de ce transistor également, vous trouverez un second circuit d'accord, composé de JAF2, C8 et R8, lui aussi accordé sur la gamme 7 100 à 7 500 Hz.

Le signal amplifié, qui se trouve sur le collecteur de TR1, est appliqué, par l'intermédiaire du condensateur C9 et de la résistance R9, sur la broche d'entrée 3 du circuit intégré IC1 qui, comme nous l'avons déjà expliqué, est un simple décodeur de fréquence.

En pratique, à l'intérieur de ce circuit intégré se trouve un étage oscillateur relié sur les broches 5 et 6, dont vous pourrez faire varier la fréquence d'un minimum de 6 900 Hz à un maximum de 7 800 Hz, en tournant simplement le trimmer R13.

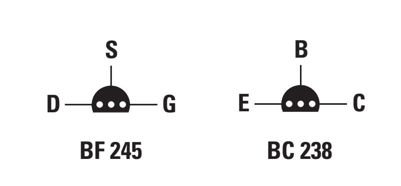
Quand la fréquence générée par l'oscillateur interne du circuit intégré IC1 se révèle être parfaitement identique à la fréquence qui entre sur la broche 3, la diode LED DL1 reliée à la broche 8 par l'intermédiaire de la résistance R11 s'allume.

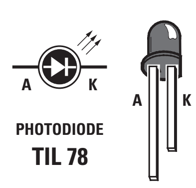
Il est donc évident que la diode LED ne s'allume qu'en mettant la diode réceptrice en face de la diode émettrice qui émet le signal à infrarouge codé sur la gamme de 7 100 et 7 500 Hz. Si ce faisceau invisible est interrompu, la diode LED s'éteint.

Ce circuit à rayon invisible est souvent utilisé dans les systèmes antivols, ou bien pour ouvrir de façon automatique des portes d'ascenseurs ou de supermarchés, mais également pour compter des objets sur des tapis de transport.

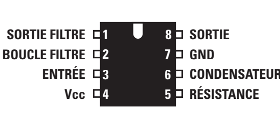
Ce récepteur fonctionne également avec une tension d'alimentation de 15 volts.

Comme le circuit intégré IC1 doit fonctionner avec une tension ne dépassant pas 9 volts, vous devrez diminuer les











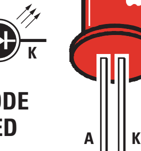


Figure 344 : Vue de dessous des connexions du FET BF245 et du BC238. Vue de dessus des connexions du circuit intégré NE567.

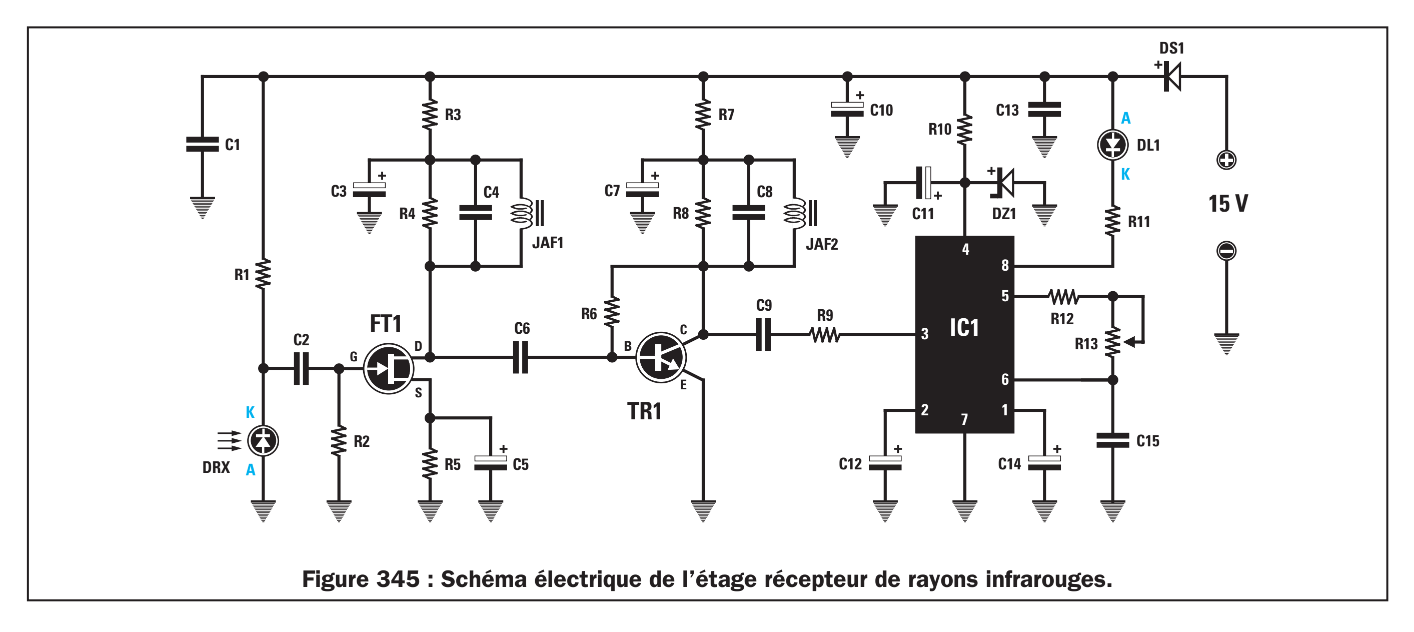


Figure 345 : Schéma électrique de l'étage récepteur de rayons infrarouges.

15 volts jusqu'à atteindre une valeur de 8,2 volts, par l'intermédiaire de la diode zener DZ1.

La diode au silicium DS1, placée en série sur le positif d'alimentation, empêche que le FET, le transistor ou bien le circuit intégré ne soient détruits, dans le cas où la polarité d'alimentation serait inversée.

Réalisation pratique de l'émetteur

Une fois le circuit imprimé et tous les composants en votre possession, vous pourrez passer à sa réalisation pratique et voir l'émetteur fonctionner immédiatement, à condition de suivre attentivement nos instructions.

Commencez le montage en insérant le support pour le circuit intégré NE555, en soudant toutes les broches sur les pistes en cuivre du côté opposé du circuit imprimé.

Une fois cette opération terminée, insérez les trois résistances en contrôlant les bagues de couleur présentes sur leur corps (voir leçon numéro 2) permettant de connaître leur valeur ohmique.

Insérez la diode au silicium DS1 à gauche du circuit imprimé, en en dirigeant sa bague vers le bas, comme sur la figure 343.

Poursuivez le montage en insérant les deux condensateurs polyester C1 et C2, puis le condensateur électrolytique C3, en dirigeant la patte positive vers le support du circuit intégré IC1. Si le positif et le négatif ne sont pas indiqués sur le corps du condensateur électrolytique, souvenez-vous que la patte du positif est toujours plus longue que l'autre.

Insérez, en haut à gauche, le bornier à 2 pôles servant pour l'entrée des 15 volts de l'alimentation.

Après ce dernier composant, vous pourrez souder la diode LED DL1, que vous reconnaîtrez sans mal car son corps est de couleur rouge.

Vous devrez ensuite insérer la patte la plus longue dans le trou indiqué par la lettre "A" (anode) et la patte la plus courte, bien sûr, dans le trou indiqué par la lettre "K" (cathode). N'oubliez pas de faire en sorte que cette diode reste maintenue à environ 1 centimètre du circuit imprimé.

La diode à infrarouge DTX, dont le corps est de couleur noire, devra être insérée dans les deux trous du circuit imprimé en correspondance avec la résistance R3, en insérant la patte la plus longue dans le trou indiqué par la lettre "A" et la plus courte dans celui indiqué par la lettre "K".

Cette diode doit être placée à l'horizontale pour pouvoir diriger le faisceau à infrarouge sortant de la partie frontale vers la diode RTX qui se trouve dans le récepteur. Vous devrez donc nécessairement replier en L ses deux pattes à l'aide d'une petite pince.

Une fois le montage terminé, insérez le circuit intégré NE555 dans son support, en dirigeant l'encoche-détrompeur en forme de U en direction de C1 (voir figure 343).

Réalisation pratique du récepteur

Une fois le circuit imprimé et tous les composants en votre possession, vous pourrez passer à sa réalisation pratique et voir le récepteur fonctionner immédiatement, à condition de suivre attentivement nos instructions.

Vous pourrez commencer le montage en insérant le support pour le circuit intégré NE567 (voir IC1), en soudant toutes les broches sur les pistes en cuivre du côté opposé du circuit imprimé.

Cette opération effectuée, insérez toutes les résistances, en contrôlant les bagues de couleur sur leur corps, puis la diode au silicium DS1 en dirigeant sa bague vers le condensateur électrolytique C10 et enfin, la diode zener DZ1, en dirigeant sa bague vers la résistance R10.

Poursuivez le montage et insérez le trimmer R13, puis les deux selfs JAF1 et JAF2, et pour finir, tous les condensateurs polyester.

Comme vous pouvez le voir sur le schéma pratique de la figure 346, le

Liste des composants de l'émetteur

R1	=	1 kΩ
R2	=	27 kΩ
R3	=	220 Ω
C1	=	3300 pF polyester
C2	=	100 nF polyester
C3	=	47 µF électrolytique
DS1	=	Diode type 1N4007
DL1	=	Diode LED
DTX	=	Diode IR émettrice CQX89
IC1	=	Intégré NE555

bornier à deux pôles servant à l'entrée des 15 volts d'alimentation, devra être placé en haut à droite.

Il manque, sur le circuit imprimé, uniquement les semi-conducteurs, c'est-à-dire la diode LED DL1, le FET FT1, le transistor TR1 ainsi que la diode réceptrice à infrarouge DRX.

Commencez par monter la diode LED DL1 en insérant sa patte la plus longue dans le trou "A" et la plus courte dans le trou "K".

Si vous insérez les pattes de cette diode dans le sens contraire, elle ne s'allumera pas. Rappelez-vous de faire en sorte que cette LED reste maintenue à environ 1,5 centimètre du circuit imprimé.

Une fois cette opération terminée, insérez le FET BF245 sans en raccourcir les pattes, dans les trous à proximité des condensateurs C6 et C5, en dirigeant la partie plate de son corps vers la droite.

Après le FET, vous pourrez monter le transistor NPN BC238, et sans en raccourcir les pattes, l'insérer dans les trous à proximité de la résistance R6, en dirigeant la partie plate de son corps vers la gauche.

Il est très important que les parties plates des deux transistors soient orientées comme indiqué sur le schéma de la figure 346.

Pour finir, vous monterez la diode réceptrice DRX, en insérant la patte la plus longue dans le trou "A" et la plus courte dans le "K".

Cette diode doit également être placée à l'horizontal pour pouvoir capter le faisceau à infrarouge de la diode émettrice.

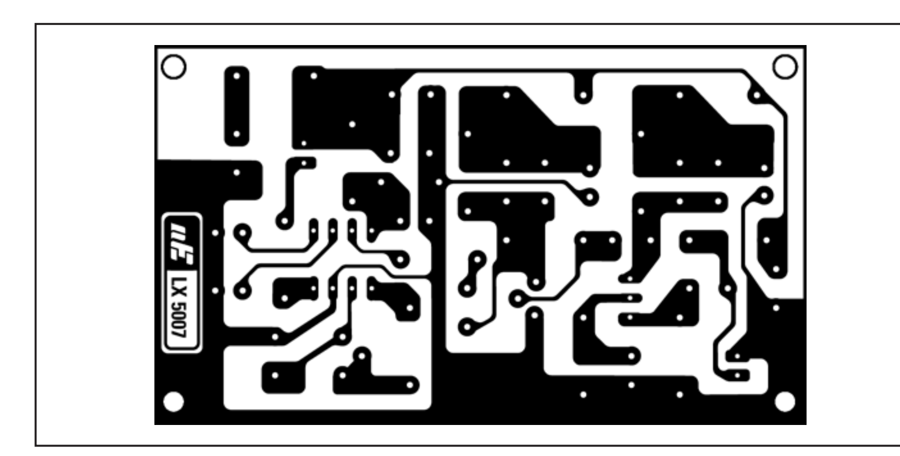
Une fois le montage terminé, vous pourrez insérer le circuit intégré NE567 dans son support, en dirigeant l'encoche-détrompeur en forme de U se trouvant sur son corps, vers la résistance R11 (voir figure 346).

Réglage

Quand le montage est terminé, pour voir fonctionner l'appareil, il suffira seulement de régler le trimmer R13 du récepteur car, comme nous l'avons déjà expliqué, la diode LED ne s'allume que lorsque la fréquence générée par le circuit intégré NE567 est parfaitement identique à celle générée par l'étage émetteur.

Étant donné que nous ignorons si la fréquence générée par l'émetteur est de 7 100, de 7 200 ou de 7 400 Hz, en raison de la tolérance des composants, pour régler le trimmer R13, vous devrez procéder ainsi :

- Placez la diode réceptrice DRX face à la diode émettrice RTX, à une distance d'environ 30 ou 40 centimètres.



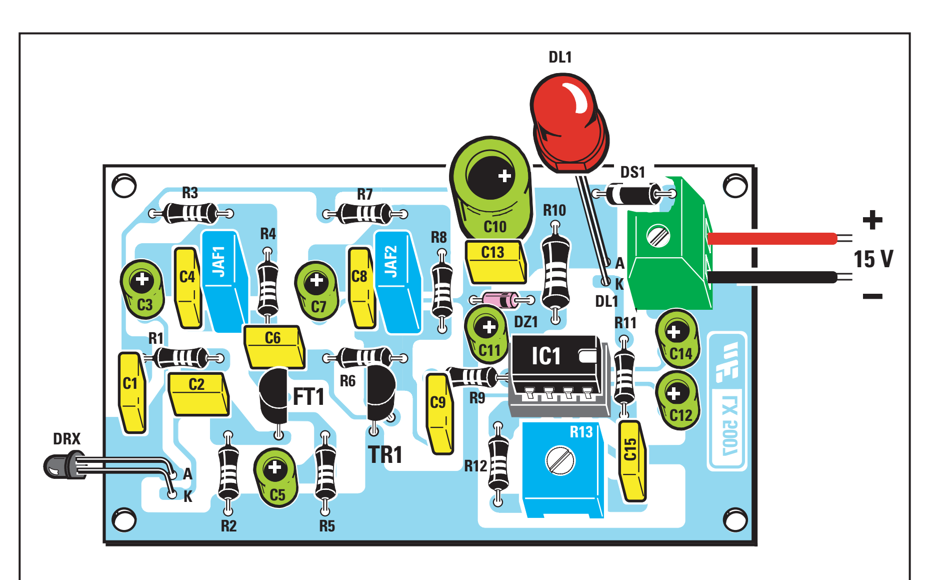


Figure 346 : Schéma d'implantation des composants de l'étage récepteur de rayons infrarouges. Si le montage des composants sur le circuit imprimé est effectué correctement, le récepteur fonctionnera tout de suite (lire les instructions pour le réglage de R13).

Liste des composants du récepteur

R1	=	1 MΩ
R2	=	1 MΩ
R3	=	1 kΩ
R4	=	1 kΩ
R5	=	4,7 kΩ
R6	=	1 MΩ
R7	=	1 kΩ
R8	=	1 kΩ
R9	=	1 kΩ
R10	=	120 Ω 1/2 W
R11	=	560 Ω
R12	=	10 kΩ
R13	=	5 kΩ trimmer
C1	=	100 nF polyester
C2	=	1,2 nF polyester
C3	=	1 µF électrolytique
C4	=	47 nF polyester
C5	=	1 µF électrolytique
C6	=	10 nF polyester
C7	=	1 µF électrolytique
C8	=	47 nF polyester
C9	=	56 nF polyester
C10	=	470 µF électrolytique
C11	=	10 µF électrolytique
C12	=	1 µF électrolytique
C13	=	100 nF polyester
C14	=	1 µF électrolytique
C15	=	10 nF polyester
DS1	=	Diode 1N4007
DZ1	=	Diode zener 8,2 V
DRX	=	Diode IR réceptrice TIL78
DL1	=	Diode LED
JAF1	=	Self 10 mH
JAF2	=	Self 10 mH
FT1	=	Transistor FET BF245
TR1	=	Transistor NPN BC238
IC1	=	Intégré NE567

Figure 347 : Le rayon infrarouge émis par la diode émettrice est invisible. La distance de transmission maximale de ce rayon est d'environ 3 mètres. Une fois cette distance dépassée, le récepteur ne pourra plus fonctionner.



Figure 348 : Pour éviter que la diode réceptrice puisse être influencée par des signaux infrarouges parasites provenant d'autres sources, le faisceau produit par la diode émettrice est modulé avec un signal à onde carrée, ayant une fréquence comprise entre 7 100 et 7 500 Hz.

- A l'aide d'un tournevis, tournez lentement le curseur du trimmer R3 jusqu'à ce que vous voyiez s'allumer la diode LED du récepteur.

- Après quoi, essayez d'interrompre le faisceau invisible avec une main ou n'importe quel objet. En agissant ainsi, vous verrez la diode LED s'éteindre et se rallumer lorsque vous retirerez votre main.

- Essayez alors d'éloigner l'étage émetteur du récepteur d'un mètre environ, en maintenant toujours dans le même axe les diodes émettrice et réceptrice.

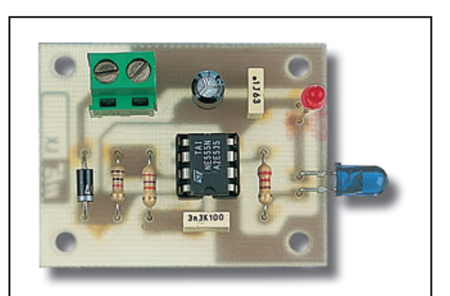


Figure 349 : Photo du prototype de la carte émettrice.

Si vous remarquez qu'à cette distance la grosse diode LED s'éteint, tournez délicatement le curseur du trimmer R13 jusqu'à ce qu'elle se rallume.

La portée maximale de ce faisceau invisible, une fois le trimmer R13 réglé, tourne autour de 3 ou 3,5 mètres. Donc, si vous dépassez cette distance, la diode LED s'éteindra.

Si vous alimentez le récepteur avec une tension inférieure, par exemple 12 ou 9 volts, vous réduirez la portée maximale.

Coût de la réalisation

Tous les composants de l'émetteur, tels qu'ils sont représentés sur la figure 343, circuit imprimé sérigraphié et percé inclus : env. 33 F. Le circuit imprimé seul : env. 8 F.

Tous les composants du récepteur, tels qu'ils sont représentés sur la figure 346, circuit imprimé sérigraphié et percé inclus : env. 104 F. Le circuit imprimé seul : env. 18 F.

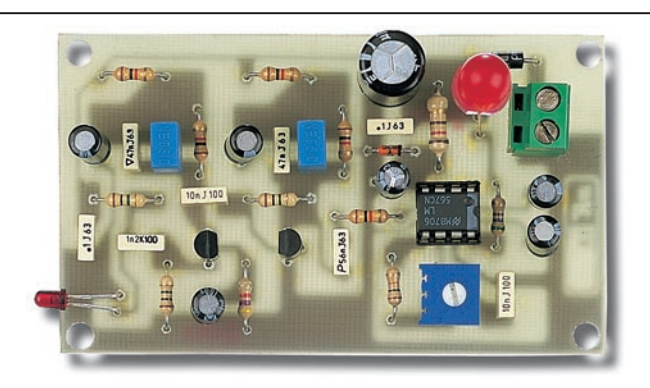


Figure 350 : Photo du prototype de la carte réceptrice.

UN RÉCEPTEUR SIMPLE POUR ONDES MOYENNES

Commençons la description de ce montage par le schéma électrique, qui se trouve sur la figure 352 pour vous expliquer, pas à pas, toutes les fonctions effectuées par les différents composants.

On devra relier sur l'une des deux prises antenne A ou B un fil de cuivre d'une longueur de 3 à 5 mètres, qui nous servira pour capter les signaux haute fréquence disponibles dans l'espace.

Plus la longueur de l'antenne sera grande, plus on parviendra à capter d'émetteurs. En fonction de la longueur de l'antenne, on devra vérifier de façon expérimentale s'il vaut mieux utiliser la prise A ou la B.

Tous les signaux captés par l'antenne atteindront la bobine L1. Comme cette dernière se trouve enroulée sur la bobine L2, les signaux se transféreront, par induction, de la première à la seconde bobine.

Sachez, pour votre information, que ces deux bobines sont enfermées dans un petit boîtier métallique que l'on a appelé MF1 (voir figure 351).

C'est la bobine L2 que l'on devra accorder pour recevoir l'émetteur à capter. Sa valeur variera autour de 330 microhenrys.

Sachant que les ondes moyennes couvrent une gamme comprise entre 550 kHz et 1 600 kHz, on devra nécessairement connaître les capacités minimale et maximale à appliquer en parallèle sur cette bobine de 330 microhenrys, pour pouvoir nous accorder sur la fréquence voulue.

Voici la formule devant être utilisée pour calculer la valeur de cette capacité :

pF =
25 300 : [(MHz x MHz) x microhenry]

Comme une telle formule exige que la fréquence soit exprimée en MHz et non en kHz, il faudra commencer par convertir les 550 kHz et les 1 600 kHz en MHz, en les divisant par 1 000. On obtient de cette façon :

550 : 1 000 = 0,55 MHz
1 600 : 1 000 = 1,60 MHz



On devra ensuite élever au carré la valeur de ces deux fréquences :

0,55 x 0,55 = 0,30
1,60 x 1,60 = 2,56

Après quoi, on pourra multiplier ces deux nombres par la valeur de l'inductance qui, comme nous le savons, est de 330 microhenrys :

0,30 x 330 = 99
2,56 x 330 = 844

On devra alors, pour connaître la valeur des capacités maximale et minimale à appliquer en parallèle sur la bobine L2, diviser le nombre fixe 25 300 par ces deux valeurs. On obtiendra ainsi :

25 300 : 99 = 255 picofarads
25 300 : 844 = 29,9 picofarads

En reliant en série sur les broches de la bobine L2 deux diodes varicap de type BB112 de 550 picofarads (voir DV1 et DV2), on obtiendra une capacité réduite de moitié, c'est-à-dire de 275 picofarads car, comme nous vous l'avons expliqué dans la leçon numéro 3, en reliant en série deux capacités de valeur identique, la capacité totale est divisée par deux.

Si l'on applique une tension positive variable de 0 à 9,1 volts (tension de travail des BB112) sur ces deux diodes varicap, on pourra faire descendre leur capacité maximale de 275 à environ 20 picofarads.

On prélèvera la tension à appliquer sur ces diodes grâce au curseur central du potentiomètre R3.

En tournant le bouton du potentiomètre vers la broche côté masse, on obtiendra la capacité maximale, c'est-à-dire 275 picofarads.

En le tournant au contraire vers la résistance R2, on obtiendra la capacité minimale, c'est-à-dire 20 picofarads.

Pour connaître la fréquence sur laquelle on s'accordera avec cette capacité variable de 275 à 20 pF en utilisant une inductance de 330 microhenrys, on pourra utiliser la formule suivante :

$$\text{kHz} = \frac{159\,000}{\sqrt{\text{picofarad} \times \text{microhenry}}}$$

Dans le tableau 20, on retrouve la valeur de la fréquence en kHz sur laquelle on s'accordera, en appliquant sur les deux diodes varicap une tension variable de 0 à 8 volts.

Tension sur les diodes varicap	capacité obtenue	fréquence d'accord
0 volt	275 pF	530 kHz
1,0 volt	250 pF	550 kHz
1,5 volt	210 pF	600 kHz
2,0 volts	160 pF	690 kHz
2,5 volts	130 pF	770 kHz
3,0 volts	110 pF	830 kHz
3,5 volts	80 pF	970 kHz
4,0 volts	60 pF	1 130 kHz
5,0 volts	50 pF	1 240 kHz
6,0 volts	40 pF	1 380 kHz
7,0 volts	30 pF	1 590 kHz
8,0 volts	20 pF	1 900 kHz

Tableau 20.

Note : les valeurs de la capacité et de la fréquence sont approximatives en raison de la tolérance des diodes varicap.

Le signal de l'émetteur capté sera envoyé, par l'intermédiaire du condensateur C4 de 22 picofarads, sur la "gate" du transistor FET, nommé FT1 sur le schéma électrique.

Ce FET amplifiera le signal de 10 à 15 fois environ, nous permettant ainsi d'obtenir sur sa patte de sortie, appelée "drain", un signal HF d'une amplitude 10 ou 15 fois supérieure à celle se trouvant aux bornes de la bobine L2.

La self JAF1, reliée sur le "drain" de ce FET, empêchera le signal HF que nous avons amplifié, d'atteindre la résistance R6 et donc, de se décharger sur la tension d'alimentation des 15 volts positifs.

Le signal HF ne pouvant traverser la self JAF1, il devra obligatoirement traverser le condensateur C7 de 100 nanofarads et atteindre la diode DG1, qui se chargera de le redresser.

Sur la sortie de cette diode de redressement, on obtiendra uniquement les demi-ondes négatives du signal haute fréquence et, superposé à celui-ci, le signal BF, comme vous pouvez le voir sur la figure 354.

Le condensateur C9 de 100 pF, placé entre la sortie de cette diode et la masse, servira à éliminer le signal HF, laissant ainsi disponible sur sa sortie le signal basse fréquence uniquement (voir figure 354). Ce signal basse fréquence, en passant à travers le condensateur C10 de 15 nonofarads, est appliqué sur la "gate" d'un deuxième FET (voir FT2) pour être amplifié.

Sur la "drain" de ce FET on prélèvera, par l'intermédiaire du condensateur C11 de 100 nanofarads, le signal HF amplifié, qui sera ensuite appliqué sur le potentiomètre R14 que nous utiliserons comme contrôle de volume.

Le signal HF que l'on prélèvera sur le curseur de ce potentiomètre sera envoyé sur la broche 3 du circuit intégré IC1, un TBA820, qui contient un amplificateur de puissance complet pour signaux basse fréquence.

En reliant un petit haut-parleur sur la broche de sortie 7 de ce circuit intégré, on pourra écouter tous les émetteurs que l'on captera.

Ceci étant dit, revenons à la diode de redressement DG1, afin de signaler que sur sa patte de sortie, appelée

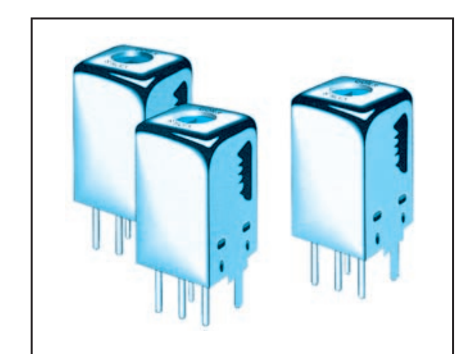


Figure 351 : Le pot MF1 se présente comme un petit parallélépipède métallique dans lequel se trouvent serties les deux bobines L1 et L2.

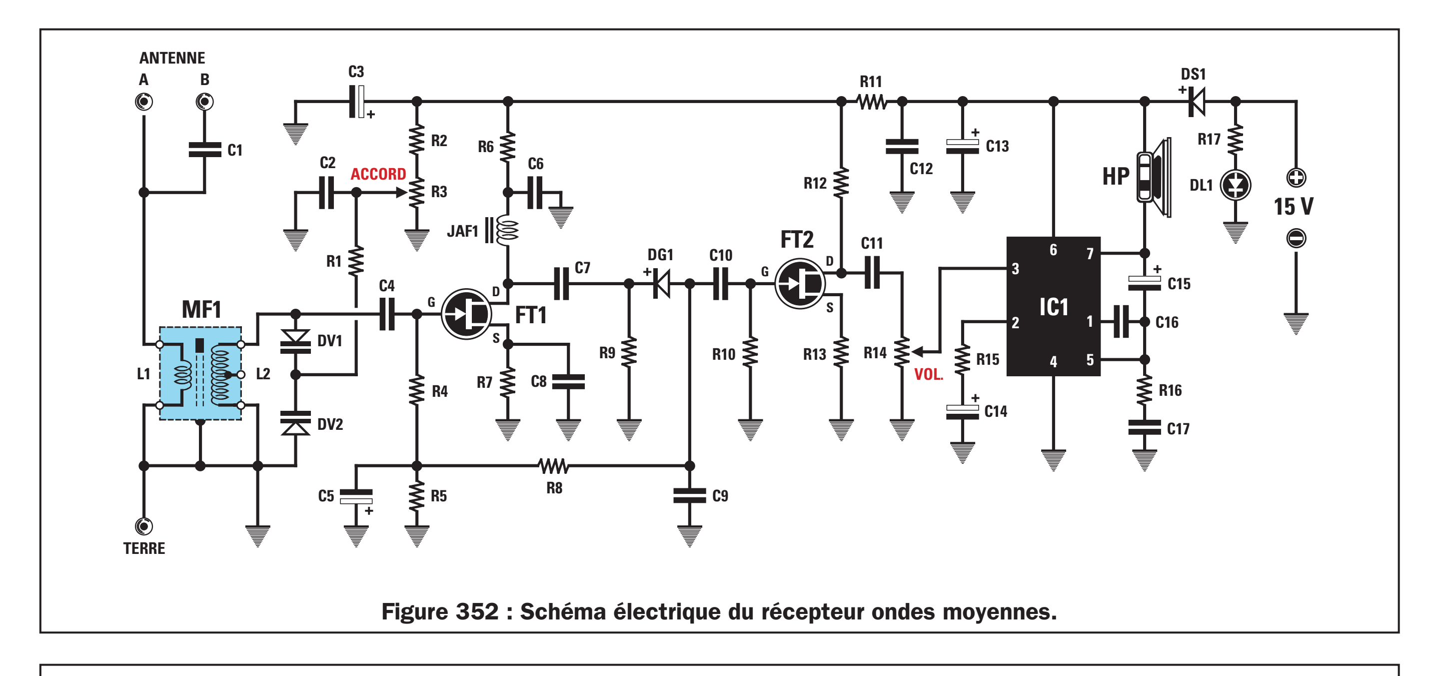


Figure 352 : Schéma électrique du récepteur ondes moyennes.

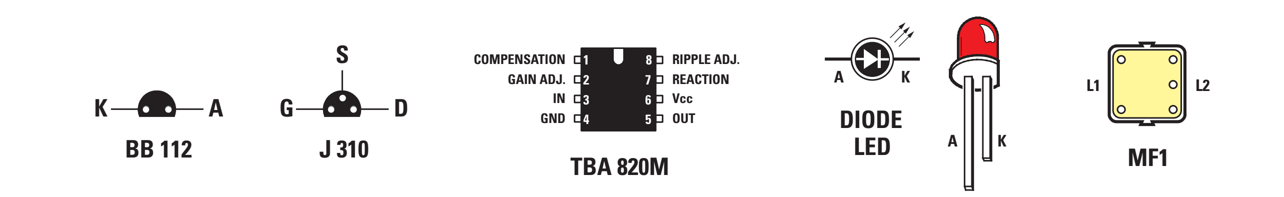


Figure 353 : Connexions des pattes des diodes varicap BB112, des FET J310 et du pot moyenne fréquence MF1 vues du dessous. Seules les connexions du circuit intégré TBA820/M sont vues du dessus. Souvenez-vous que la patte la plus longue de la diode DL1 est l'anode (A), et la plus courte la cathode (K).

anode, on trouvera une tension négative, dont l'amplitude s'avérera proportionnelle à celle du signal haute fréquence capté par l'antenne.

En installant une antenne d'environ 5 mètres de longueur, tous les émetteurs très proches fourniront une tension positive avec une amplitude pouvant atteindre un maximum de 1 ou 1,2 volt négatif, tandis que si l'on capte des émetteurs très éloignés, cette amplitude dépassera rarement 0,2 ou 0,3 volt négatif.

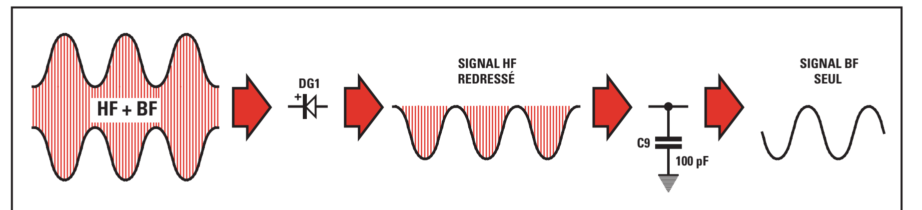


Figure 354 : Sur un signal HF modulé en amplitude est toujours superposé, sur les deux extrémités supérieure et inférieure, un signal BF. Ce signal composite est appliqué sur l'entrée de la diode DG1 qui laissera seulement passer les "demi ondes négatives", y compris le signal BF. Le condensateur C9 de 100 pF, relié entre la sortie de la diode DG1 et la masse (voir figure 352), éliminera le signal HF, mais pas le signal BF.

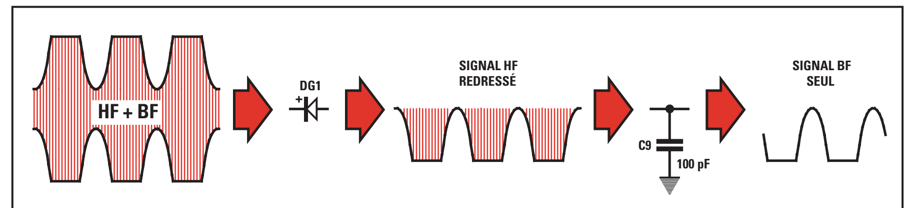


Figure 355 : S'il n'y avait pas de contrôle automatique de gain dans un récepteur, tous les signaux très forts satureraient les étages préamplificateurs. Dans un signal saturé, les extrémités du signal HF + BF seraient "coupées", et le signal BF redressé n'aurait alors plus une forme sinusoïdale parfaite, mais une forme complètement distordue.

Cette tension négative, ne pouvant atteindre le FET FT2 en raison de la présence du condensateur C10 (ce condensateur sert seulement à laisser passer les signaux alternatifs basse fréquence et non la tension continue), elle se déversera sur la résistance R8 et atteindra ainsi les deux résistances R4 et R5 reliées à la "gate" du FET FT1.

Si l'on capte un signal très fort, une tension négative d'environ 1 ou 1,2 volt arrivera sur ces deux résistances, tandis que si l'on capte un signal très faible, ce sera une tension négative d'environ 0,2 ou 0,3 volt.

Vous vous demanderez alors à quoi sert de faire parvenir sur ces résistances une tension négative proportionnelle aux variations d'amplitude du signal capté par l'antenne. Cette tension est utilisée pour ajuster automatiquement le gain du FET, c'est-à-dire pour amplifier plus ou moins, le signal capté par l'antenne.

Lorsqu'une tension négative de 1 ou 1,2 volt environ parviendra sur ces deux résistances, le FET amplifiera le signal capté par l'antenne 2 ou 3 fois seulement. Quand, par contre, une tension négative de 0,2 ou 0,3 volt

environ parviendra sur ces deux résistances, le FET l'amplifiera 12 ou 13 fois.

Sans ce contrôle automatique de gain, tous les émetteurs très puissants seraient amplifiés 12 à 15 fois et, par conséquent, on obtiendrait sur la sortie de la diode, un signal basse fréquence très déformé, car toutes les demi-ondes négatives seraient écrêtées (voir figure 355). En effet, le signal basse fréquence, redressé par la diode DG1, n'aurait plus une forme sinusoïdale.

Ce "contrôle automatique de gain", communément appelé CAG (AGC en anglais), nous servira par conséquent à augmenter les signaux très faibles jusqu'à leur maximum et à diminuer les signaux très puissants jusqu'à leur minimum, afin d'éviter des distorsions.

Pour alimenter ce récepteur, on utilisera une tension de 15 volts que l'on pourra prélever d'une alimentation identique à celle décrite dans la leçon numéro 7.

Afin d'éviter qu'une inversion du "plus" et du "moins" risque de griller le FET ou le circuit intégré IC1, nous avons inséré une protection, qui n'est autre que la diode au silicium DS1.

Ainsi, s'il nous arrivait par inadvertance de nous tromper dans le sens de branchement de l'alimentation, cette diode empêchera la tension inverse d'entrer dans le récepteur.

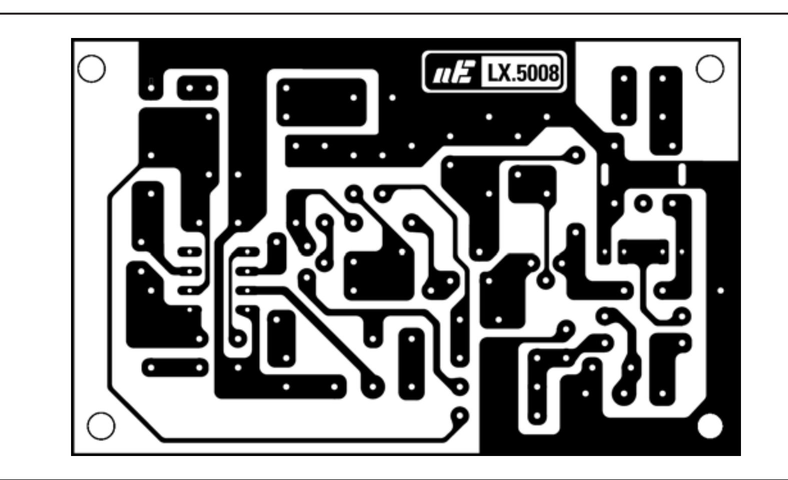
La diode LED DL1 reliée sur la tension positive d'alimentation de 15 volts, nous servira de lampe "témoin", car elle ne s'allumera que lorsque le récepteur se trouvera sous tension.

Réalisation pratique

Avant de procéder à la description du montage, nous voulons vous rappeler que tous les circuits électroniques que nous vous présentons dans nos leçons fonctionnent dès la fin de leur réalisation, à moins d'avoir commis des erreurs et à condition d'avoir effectué des soudures parfaites.

Avant de mettre en place une résistance ou un condensateur, vous devrez lire sa valeur sur son corps avant de l'insérer à l'emplacement voulu, sachant qu'en cas de doute, vous pourrez toujours vous aider des tableaux de la leçon numéro 2.

Une fois en possession du circuit imprimé, nous vous conseillons de commencer par y installer le support du circuit intégré IC1. Après avoir soudé



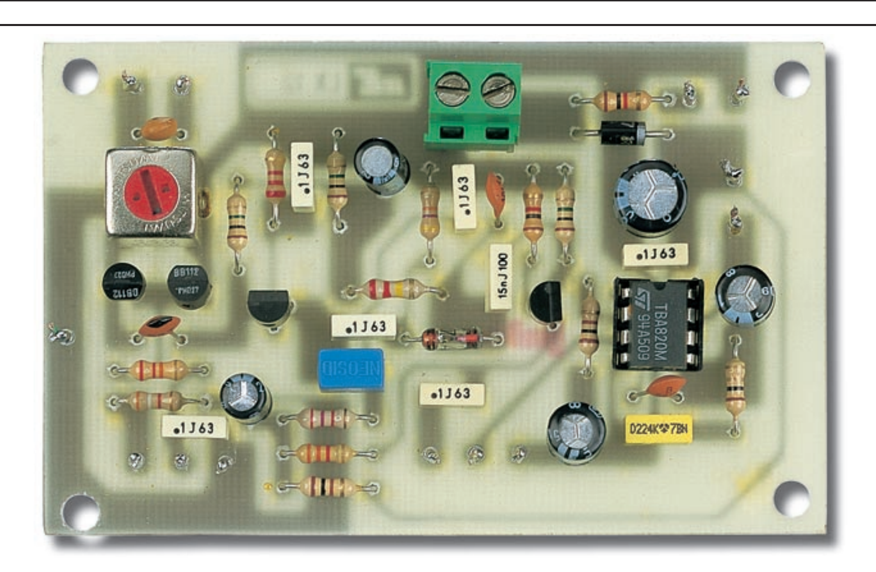


Figure 356 : Sur cette photo, on peut voir comment se présente le circuit imprimé après le montage des composants (voir figure 357).

Liste des composants du récepteur ondes moyennes

R1	=	22 kΩ
R2	=	3,9 kΩ
R3	=	4,7 kΩ potentiomètre
R4	=	1 MΩ
R5	=	1 MΩ
R6	=	2,7 kΩ
R7	=	2,2 kΩ
R8	=	220 kΩ
R9	=	47 kΩ
R10	=	1 MΩ
R11	=	100 Ω
R12	=	3,3 kΩ
R13	=	1 kΩ
R14	=	10 kΩ potentiomètre
R15	=	100 Ω
R16	=	1 Ω
R17	=	1 kΩ
C1	=	100 pF céramique
C2	=	100 nF polyester
C3	=	47 µF électrolytique
C4	=	22 pF céramique
C5	=	2,2 µF électrolytique
C6	=	100 nF polyester
C7	=	100 nF polyester
C8	=	100 nF polyester
C9	=	100 pF céramique
C10	=	15 nF polyester
C11	=	100 nF polyester
C12	=	100 nF polyester
C13	=	220 µF électrolytique
C14	=	100 µF électrolytique
C15	=	100 µF électrolytique
C16	=	680 pF céramique
C17	=	220 nF polyester
JAF1	=	Self 10 mH
DV1	=	Diode varicap BB112
DV2	=	Diode varicap BB112
DS1	=	Diode 1N4007
DG1	=	Diode germanium AA117
DL1	=	Diode LED rouge
MF1	=	Pot MF avec noyau rouge
FT1	=	Transistor FET J310
FT2	=	Transistor FET J310
IC1	=	Intégré TBA.820/M
HP	=	Haut-parleur 8 Ω, 0,8 W

Note : toutes les résistances utilisées dans ce récepteur sont des 1/4 de watt à 5 %

Figure 357 : Schéma d'implantation des composants du récepteur.
Avant d'insérer une résistance ou un condensateur, contrôlez leur valeur exacte sur la liste des composants.

toutes ses broches, contrôlez qu'aucune goutte d'étain ne vienne court-circuiter deux broches voisines.

Le deuxième composant que nous vous conseillons d'insérer est le pot MF1 contenant les deux bobines L1 et L2. En plus de ses cinq broches, vous devrez veiller à souder sur les pistes du circuit imprimé, les deux languettes métalliques de la masse reliées au boîtier métallique.

Une fois ces opérations terminées, vous pourrez insérer toutes les résistances en contrôlant le code des couleurs de leur corps. Il faut bien appuyer sur le corps de chaque résistance afin qu'elle touche parfaitement au circuit imprimé. Après avoir soudé les deux pattes de chacune d'entre elles, coupez-en la partie excédante à l'aide d'une paire de ciseaux si vous ne disposez pas de petites pinces coupantes.

Une fois toutes les résistances soudées sur le circuit imprimé, insérez la diode plastique DS1 à proximité de la résistance R17, en dirigeant sa bague vers la droite comme sur la figure 357.

Insérez ensuite la seconde diode en verre DG1 dans les deux trous placés au-dessus du condensateur C11, en dirigeant sa bague vers la self JAF1. Si vous tournez la bague de ces diodes dans le sens contraire, le récepteur ne fonctionnera pas.

Après ces composants, insérez tous les condensateurs céramiques et polyesters, en contrôlant leurs valeurs respectives sur la liste des composants. En cas de doute, vous pourrez toujours aller vérifier leur code dans la leçon numéro 2.

Poursuivez le montage en insérant tous les condensateurs électrolytiques en vérifiant attentivement que leur patte positive soit bien insérée dans le trou marqué du signe "+". Insérez la patte positive de C3 dans le trou de manière à ce que le condensateur soit tourné vers le bas, celle de C5 vers le haut, celle de C13 vers la droite et celles de C14 et C15 vers le haut. Dans le cas où, sur le corps de ces condensateurs, rien ne viendrait différencier la patte positive de la patte négative, souvenez-vous que la positive est toujours la plus longue des deux.

Insérez à présent la self JAF1, puis les deux FET, FT1 et FT2, marqués "J310" suivi de lettres ou de chiffres dont vous ne devez pas tenir compte, étant donné qu'il s'agit du code utilisé par le fabricant pour établir la date de fabrication du composant.

En insérant le FET FT1, tournez la partie plate de son corps vers les résistances

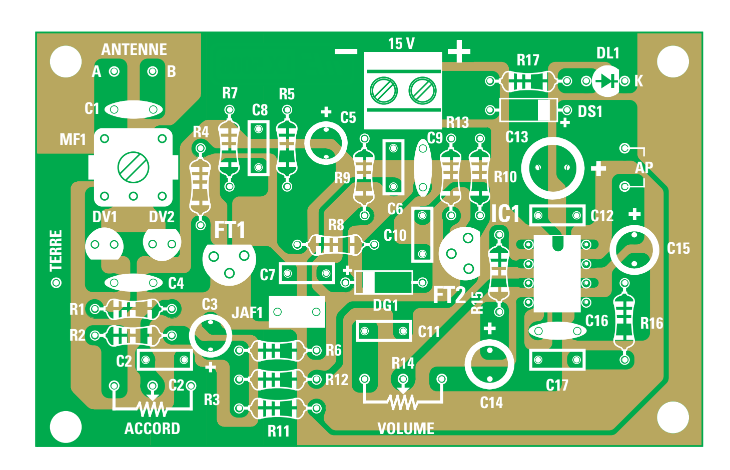


Figure 358 : Si vous faites l'acquisition du kit, le circuit imprimé en fibre de verre que nous vous fournirons est déjà percé et tous les sigles des différents composants à insérer y sont gravés.

R4 et R7. Par contre, en insérant le FET FT2, tournez la partie plate de son corps vers IC1.

Ces deux transistors FET doivent être maintenus surélevés par rapport au circuit imprimé, autant que le permet la longueur de leurs pattes.

Après avoir soudé les trois broches du FET, prenez les deux diodes varicap DV1 et DV2 qui, comme vous le remarquerez, portent sur la partie plate de leur corps le sigle "BB112".

Ces diodes doivent également être surélevées, exactement comme le FET, et non pas enfoncées au maximum.

En insérant DV1 sur la gauche du pot MF1, pensez à diriger sa partie plate vers le bas. Par contre, en insérant DV2 sur la droite du pot MF1, dirigez-la vers le haut, comme cela apparaît nettement représenté sur la figure 357.

En dernier, montez le bornier à 2 pôles nécessaire pour l'entrée des 15 volts d'alimentation et insérez dans les trous les petites "picots" que vous pourrez réaliser à l'aide de queues de résistance et qui serviront à relier les fils des douilles de l'antenne et de la terre, les fils de la diode LED DL1, ceux des potentiomètres R3 et R14, ainsi que ceux du haut-parleur. Ces cosses servent en fait à faciliter la soudure des fils.

Vous pouvez dès lors insérer le circuit intégré IC1 dans son support, c'est-à-dire le TBA820/M, en appuyant avec force, et sans oublier de diriger le côté de son corps ayant une encoche en forme de U vers le condensateur C12.

Si vous constatez que ses broches sont trop écartées du corps et qu'elles ne permettent pas son insertion dans le support, vous pourrez les rapprocher en les appuyant contre une surface plane.

Vérifiez attentivement que toutes les broches du circuit intégré entrent parfaitement dans leurs emplacements respectifs, car il peut arriver qu'une seule broche sorte sur le côté du support, empêchant alors le fonctionnement du circuit.

Après avoir inséré le circuit intégré, laissez de côté votre montage et prenez le boîtier plastique.

Insérez dans le trou de gauche de la face avant le potentiomètre R3 de l'accord, que vous reconnaîtrez au marquage "4.7K" gravé sur son corps, et le potentiomètre R1 du volume, reconnaissable grâce au marquage "10K" gravé sur son corps, dans le trou de droite.

Comme ces potentiomètres sont munis d'axes longs, vous devrez les raccourcir pour ne pas vous retrouver avec des boutons trop éloignés de la face avant. Pour cela, vous devrez vous munir d'une scie.

Pour serrer ses écrous sur la face avant vous devez vous procurer une clé de 14 mm, de préférence à tube.

Ces accessoires mécaniques vous serviront par la suite pour tous les autres montages.

Sur cette même face avant, vous devrez également fixer le petit support de LED chromé de la diode DL1.

Sur la face arrière, insérez les douilles de la terre et de l'antenne, en procédant ainsi :

- prenez les douilles et dévissez-en les écrous.
- retirez de leur corps la rondelle plastique isolante (voir figure 359).
- insérez le corps de la douille à l'intérieur du trou, placez la rondelle isolante sur la partie postérieure puis serrez-la à l'aide des deux écrous (voir figure 360).

Cette est opération est nécessaire si l'on veut isoler le corps métallique de la douille du métal de la face avant.

Une fois cette opération effectuée, insérez dans les quatre trous du circuit imprimé les axes de 4 supports plastiques. Après avoir retiré le papier protecteur qui couvre leurs bases vous devrez placer le circuit dans le fond du boîtier en exerçant une légère pression.

La face avant ayant été insérée dans les guides du boîtier, reliez les bornes des potentiomètres aux "picots" placées sur le circuit imprimé.

Vous remarquerez, en observant la figure 357, que la borne de droite de chaque potentiomètre devra être reliée à son corps métallique à l'aide d'un petit morceau de fil de cuivre. Cette liaison sert à amener leur corps métallique à la masse, de façon à blinder la résistance interne du potentiomètre.

A l'aide de deux autres fils gainés de plastique, reliez les pattes de la diode LED DL1 aux "picots" placées en haut

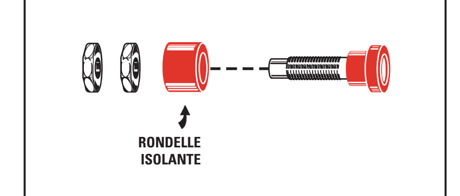


Figure 359 : Avant d'insérer les trois douilles pour l'antenne et la terre, vous devez dévisser leurs écrous et retirer la petite rondelle isolante de leurs corps.

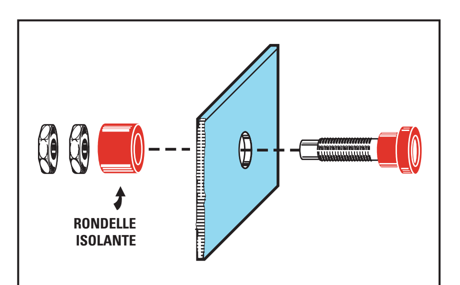


Figure 360 : Le corps de la douille devra être placé dans le trou se trouvant sur le panneau en aluminium, en insérant par derrière la rondelle isolante et les écrous de fixation.

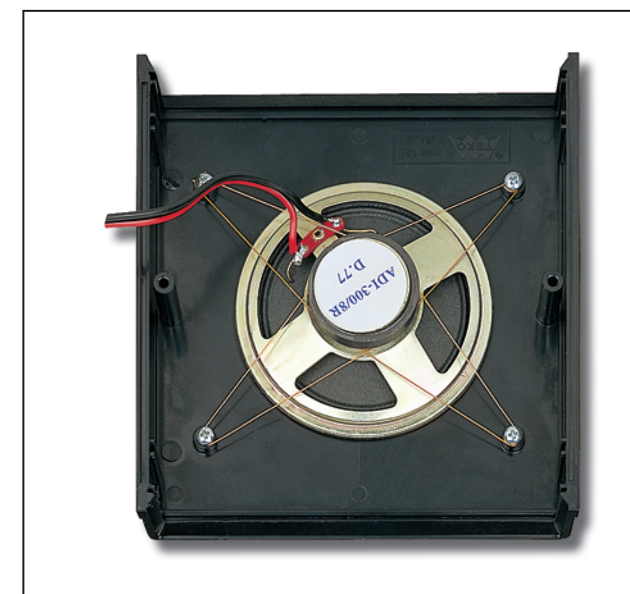


Figure 361 : Pour fixer le haut-parleur sur le couvercle du boîtier, vous devrez visser des vis autotaraudeuses dans les supports plastiques et, ensuite, enrouler sur celles-ci deux morceaux de fils de cuivre en les disposants en “X”.

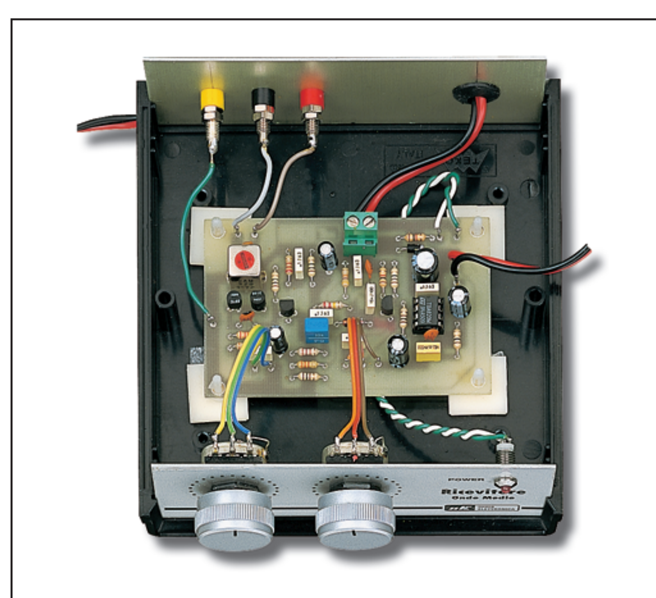


Figure 362 : Pour fixer le circuit imprimé du récepteur à l’intérieur du boîtier, vous devez insérer les axes des entretoises autocollantes en plastique dans les quatre trous du circuit imprimé.

et indiquées par les lettres “A” et “K”. “A” sera relié à la patte la plus longue du corps de la diode et “K” à la patte la plus courte. Si vous inversez ces deux pattes, la diode LED ne s’allumera pas.

Vous pourrez alors relier, à l’aide de gros fils de cuivre gainés de plastique, les trois douilles terre et antenne, comme sur la figure 357.

Avant de relier le haut-parleur, il faudra le fixer sur le couvercle du boîtier. Pour ce faire, vous visserez dans les colonnettes en plastique quatre vis autotaraudeuses, que vous utiliserez comme point d’attache pour des morceaux de fil de cuivre servant à maintenir le haut-parleur (voir figure 361).

Vous devrez ensuite souder deux fils sur les deux bornes du haut-parleur et les relier ensuite aux deux broches “picots” placées à proximité du condensateur C13.

Une fois cette dernière opération effectuée, vous pourrez relier les deux fils des 15 volts d’alimentation au bornier à deux pôles, en faisant attention à ne pas inverser le fil positif et le négatif.

Il faut à présent s’occuper de l’antenne car, sans elle, il est impossible de capter les signaux émis par les émetteurs transmettant sur les ondes moyennes.

Procurez-vous auprès d’un revendeur de matériel électrique une vingtaine de mètres de fil électrique fin et gainé de plastique du type de celui utilisé pour l’installation des sonnettes, ou bien utilisez une dizaine de mètres de fil bifilaire pour installations électriques que vous séparerez en deux, afin d’obtenir deux fils distincts. Vous en utiliserez un pour l’antenne et l’autre pour la prise de terre.

Vous pourrez étendre le fil de l’antenne entre deux murs, le faire descendre d’une fenêtre ou bien le relier à la prise antenne de votre téléviseur.

Vous pourrez relier le fil que vous utiliserez comme prise de terre à un robinet ou au métal d’un radiateur.

Si vous ne vous servez pas de fil de terre, non seulement le récepteur sera beaucoup moins sensible, mais il captera également les parasites générés par les lampes fluorescentes.

Ce qu’il faut savoir

- Si vous utilisez un fil très court pour l’antenne, vous ne capterez que l’émetteur local le plus proche.
- Si vous n’utilisez pas de prise de terre, le récepteur ne réussira pas à capter les émetteurs les plus faibles.
- Si vous insérez l’antenne dans la prise “A”, le signal sera plus fort, mais vous obtiendrez une moins bonne sélectivité, et vous entendrez donc tous les émetteurs sur une bande très large.
- Si vous insérez l’antenne dans la prise “B”, le signal sera atténué, mais la sélectivité s’en trouvera améliorée, c’est-à-dire que l’émetteur local dérangera moins les émetteurs faibles.
- Si vous avez dans la pièce une lampe au néon, elle pourrait perturber la réception. Si vous remarquez des perturbations, essayez de l’éteindre et vous verrez que ces bruits disparaîtront.

- Souvenez-vous que ce récepteur utilise un seul FET pour amplifier les signaux radio, ne vous attendez donc pas à ce qu’il fasse des miracles ! Il est surtout destiné à vous faire comprendre ce que vous avez appris dans les leçons précédentes.

- Pour obtenir une meilleure sensibilité ainsi qu’une meilleure sélectivité, il faut un récepteur doté de plus de composants, que nous vous présenterons dans l’une des prochaines leçons.

Réussir à réaliser un récepteur radio en partant de zéro, c’est déjà un succès à ne pas sous-évaluer.

Si vous ne réussissez pas à le faire fonctionner, vous pourrez utiliser la Hot Line et si cela ne suffisait encore pas, ne vous en faites pas, car si vous nous l’envoyez, nous vous le retournerons en état de marche en vous expliquant où se situe votre erreur.

Coût de la réalisation

Tous les composants tels que représentés sur la figure 357, sans le boîtier mais circuit imprimé percé et sérigraphié inclus : env. 198 F. Le circuit imprimé seul : env. 23 F. Le boîtier : env. 68 F.

◆ **G. M.**

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Pour connaître la tension en volts en différents points d'un circuit électronique ou pour connaître la consommation en milliampères ou ampères que ce circuit consomme, il faut disposer d'un instrument de mesure appelé "Contrôleur universel" ou "Multimètre". Grâce à cet instrument, il est également possible de lire la valeur ohmique de n'importe quelle résistance.

On trouve dans le commerce deux sortes de multimètres. D'une part, les "analogiques", reconnaissables à leur instrument à aiguille laquelle dévie sur un cadran gradué et, d'autre part, les "digitaux", qui disposent d'un afficheur à cristaux liquides sur lequel apparaît une succession de chiffres (digits).

Pour qui n'a jamais utilisé un multimètre analogique, lire la valeur exacte sur les échelles graduées de l'instrument en fonction de la position sur laquelle est réglé le bouton des échelles, peut sembler difficile. Il en va de même pour les multimètres digitaux, car il faut toujours se rappeler que le point se trouvant entre deux chiffres équivaut à une virgule, donc, si par exemple "1 500" s'affiche on devra lire "1,5". Si ce point apparaît à gauche du nombre, il équivaut à 0, donc, si ".5" s'affiche on devra lire "0,5".

L'INSTRUMENT DE MESURE APPELÉ MULTIMÈTRE

Le multimètre est le premier instrument à acquérir pour pouvoir travailler dans l'électronique car, grâce à lui, on peut mesurer les volts d'une tension, les ampères d'un courant et les ohms d'une résistance.

Les multimètres que l'on trouve dans le commerce peuvent être "analogiques" ou "digitaux", sachant que la différence entre ces deux types est la suivante :

Les multimètres "analogiques" sont pourvus d'un galvanomètre dont l'aiguille, en se déplaçant de gauche à droite, indique en chiffres sur une échelle graduée, la valeur en volts, ampères ou ohms (voir figure 368).

Les multimètres "digitaux" n'ont pas d'aiguille, mais seulement un afficheur, généralement à cristaux liquides, capable de visualiser en chiffres la valeur en volts, ampères ou ohms (voir figure 370).

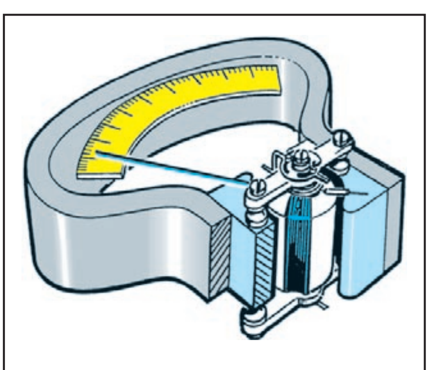


Figure 363 : Aux extrémités de l'aimant qui se trouve à l'intérieur des multimètres analogiques, se trouve une bobine mobile munie d'une aiguille. Plus la tension appliquée aux extrémités de la bobine sera importante, plus sa rotation sera ample.

Multimètre analogique

Dans un multimètre analogique, on trouve un instrument de mesure à aiguille, un galvanomètre, de 10, 20 ou 30 microampères et un commutateur mécanique servant à relier en série à cet instrument des résistances lorsqu'il est commuté sur "voltmètre" (voir figure 366), et à les relier en parallèle, lorsqu'il est commuté sur "ampèremètre" (voir figure 367).

Figure 364 : Si, en appliquant aux extrémités de la bobine mobile une tension de 1 volt, l'aiguille de l'instrument se déplace complètement à fond d'échelle, il est évident qu'en appliquant une tension de seulement 0,5 volt, l'aiguille ne se déplacera qu'à la moitié de l'échelle.

Pour vous faire comprendre le fonctionnement d'un multimètre analogique nous vous donnerons toutes les indications nécessaires concernant les fonctions de base, c'est-à-dire voltmètre, ampèremètre et ohmmètre, ainsi que le schéma électrique. Nous vous apprendrons également à calculer les valeurs des résistances à appliquer en série ou en parallèle au microampèremètre.

Fonction voltmètre

Supposons que nous ayons un multimètre équipé d'un galvanomètre de 20 microampères ayant une résistance interne de 1 200 ohms. Cette résistance est celle du fil de cuivre enroulé sur la bobine mobile (voir figure 364).

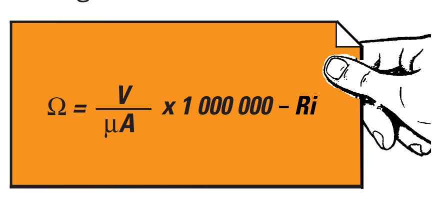


Figure 365 : Si vous décidez de faire l'acquisition d'un multimètre analogique, choisissez-en un dont la sensibilité soit d'au moins 20 000 ohms par volt, pour réduire les erreurs de lecture.

Si l'instrument dispose de 6 échelles :

1, 3, 10, 30, 100, 300 volts

le commutateur appliquera en série sur l'instrument, 6 résistances différentes (voir figure 366), dont la valeur est calculée grâce à la formule :



V = tension à lire à fond d'échelle
µA = valeur de l'instrument en microampères.
Ri = résistance interne de l'instrument en ohms
1 000 000 = nombre fixe pour les microampères.

Donc, pour la première échelle, c'est-à-dire celle de 1 volt à fond d'échelle, la valeur de la résistance sera de :

(1 : 20) x 1 000 000 – 1 200
= 48 800 ohms

Cette opération mathématique doit s'effectuer ainsi :

1 : 20 = 0,05
0,05 x 1 000 000 = 50 000
50 000 – 1 200 = 48 800 ohms

Avec cette valeur de 48 800 ohms, l'aiguille de l'instrument déviera à fond d'échelle, en appliquant une tension exacte de 1 volt sur ses douilles de sortie.

En connaissant la valeur de la résistance voulue pour lire 1 volt, on pourra déterminer la sensibilité de l'instrument en faisant la somme de la résistance interne et de celle placée en série, c'est-à-dire :

48 800 + 1 200 ohms
= 50 000 ohms

Si on se réfère à notre exemple, on peut affirmer que ce multimètre a une sensibilité de :

50 000 ohms par volts

A l'aide de la formule indiquée ci-dessus, on pourra calculer la valeur des résistances à appliquer en série sur l'instrument, de façon à ce que l'aiguille de ce dernier dévie à fond d'échelle, pour les valeurs de tension suivantes :

1 volt	**= résistance de**	**48 800 Ω**
3 volts	**= résistance de**	**148 800 Ω**
10 volts	**= résistance de**	**498 800 Ω**
30 volts	**= résistance de**	**1 498 800 Ω**
100 volts	**= résistance de**	**4 998 800 Ω**
300 volts	**= résistance de**	**14 998 800 Ω**

Le commutateur S1 se chargera d'insérer la valeur ohmique voulue en fonction de la tension maximale à lire (voir figure 366).

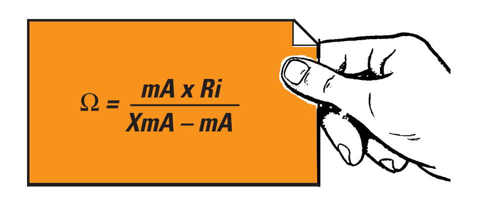
Note : pour notre exemple, nous avons choisi un instrument à 6 échelles, mais on peut également trouver dans le commerce des multimètres munis d'une échelle de 0,3 volt et de 1 000 volts à fond d'échelle.

Fonction ampèremètre

En ayant un galvanomètre de 20 microampères, si l'on désire lire les valeurs de courant suivantes à fond d'échelle :

0,3, 3, 30, 300, 3 000 milliampères

on devra relier en parallèle à l'instrument de mesure 5 résistances différentes (voir figure 367), dont on pourra calculer la valeur en utilisant cette formule :



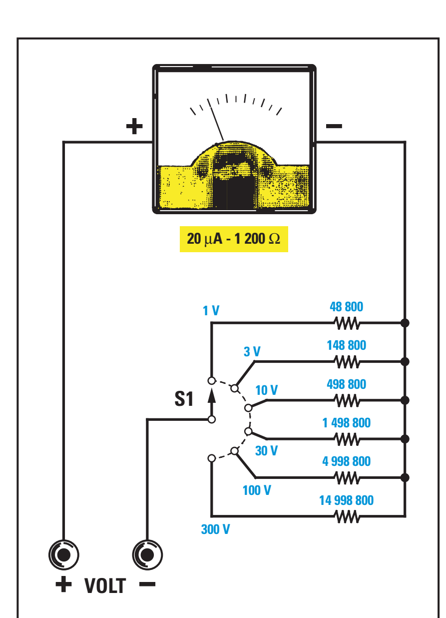


Figure 366 : On trouve, à l'intérieur d'un multimètre analogique, un microampèremètre. Pour lire des valeurs de TENSION, il faut relier "en série" à cet instrument des résistances dont on peut calculer la valeur ohmique en fonction de la sensibilité du microampèremètre et de la valeur ohmique de sa bobine mobile. Bien entendu, dans les multimètres du commerce, ces valeurs ont déjà été calculées !

mA = milliampères de l'instrument utilisé.
Ri = résistance interne de l'instrument, en ohms.
XmA = milliampères à lire à fond d'échelle.

Etant donné que la formule nécessite que la sensibilité de l'instrument soit exprimée en milliampères et non en microampères, on doit commencer par convertir les 20 microampères en milliampère en les divisant par 1 000, obtenant ainsi :

20 : 1 000 = 0,02 milliampère

Pour obtenir la première échelle de 0,3 milliampère à fond d'échelle, on doit utiliser une résistance de :

(0,02 x 1 200) : (0,3 – 0,02)
= 85,71 ohms

Cette opération mathématique doit s'effectuer ainsi :

0,02 x 1 200 = 24
0,3 – 0,02 = 0,28
24 : 0,28 = 85,71 ohms

Avec la formule indiquée ci-dessus, on peut calculer la valeur ohmique des résistances à relier en parallèle à l'instrument pour faire dévier l'aiguille à fond d'échelle pour ces 5 valeurs de courant :

0,3 mA	=	**résistance de**	**85,75 Ω**
3 mA	=	**résistance de**	**8,05 Ω**
30 mA	=	**résistance de**	**1,00 Ω**
300 mA	=	**résistance de**	**0,80 Ω**
1 000 mA	=	**résistance de**	**0,024 Ω**

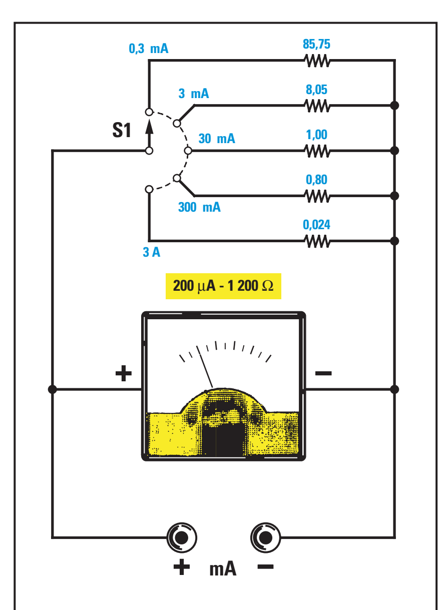


Figure 367 : Pour pouvoir lire des valeurs de COURANT, il est nécessaire de réduire la sensibilité de l'instrument, en reliant en parallèle des résistances.

Note = la dernière échelle de 1 000 mA correspond à 1 ampère à fond d'échelle. En effet, pour convertir les milliampères en ampères, il suffit de les diviser par 1 000.

Le commutateur S1 se chargera d'insérer la valeur ohmique voulue en fonction de la tension maximale du courant que l'on veut lire (voir figure 367).

Fonction ohmmètre

Pour réaliser un ohmmètre, il faut disposer d'une tension de référence car, dans cette fonction, le galvanomètre

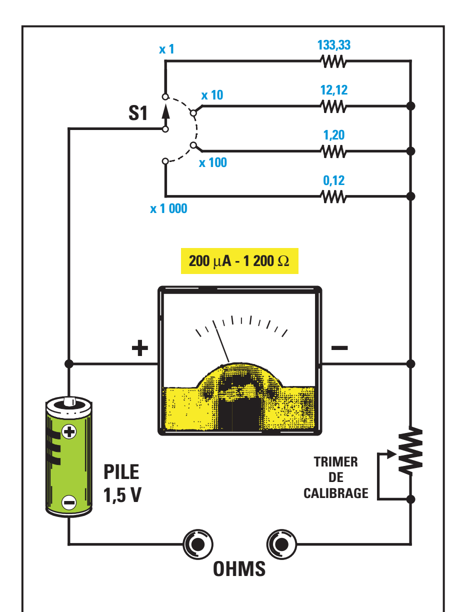
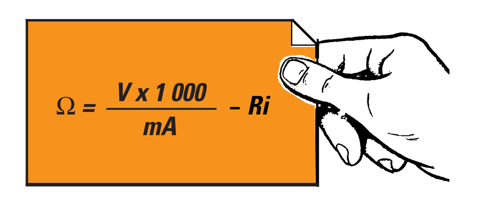


Figure 369 : Pour lire les valeurs des résistances en ohms, il faut une tension de référence qui est fournie par une pile de 1,5 ou 3 volts, placée à l'intérieur de chaque multimètre.

est utilisé comme un milliampèremètre, pour mesurer le courant qui parcourt une résistance.

La tension de référence est fournie par une pile de 1,5 volt, qui se trouve toujours à l'intérieur des multimètres (voir figure 369).

En admettant que l'on utilise un galvanomètre de 20 microampères, qui correspondent à 0,02 milliampère, pour réaliser un ohmmètre, on doit relier en parallèle une résistance (voir figure 370), dont la valeur se calcule grâce à cette formule :



R1 = valeur de la résistance à relier en série,
V = tension de la pile de référence,
Ri = résistance interne de l'instrument,
1 000 = nombre fixe à utiliser pour les milliampères.

En introduisant dans la formule ci-dessus les données dont nous disposons, nous obtiendrons :

[(1,5 x 1 000) : 0,02] – 1 200
= 73 800 ohms

Pour vérifier que l'instrument soit bien parcouru par un courant de 0,02 mil-

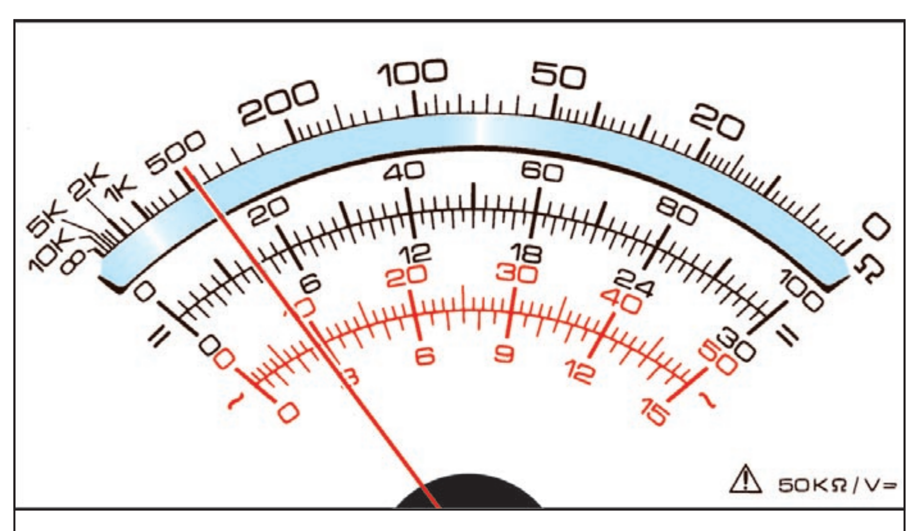
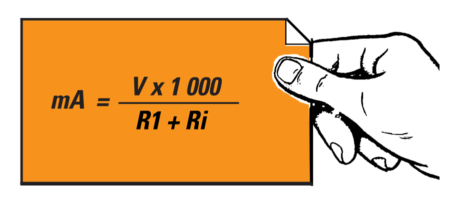


Figure 368 : Sur le cadran d'un multimètre analogique, on trouve une seule échelle graduée pour les résistances (en ohms), qui part de gauche avec 10 kilohms et finit à droite avec 0 ohm, deux échelles graduées de 0 à 100 et de 0 à 30 pour lire les tensions (en volts) et les courants (en ampères) en "continu", et deux échelles graduées de 0 à 50 et de 0 à 15 pour lire les tensions (en volts) et les courants (en ampères) en "alternatif".

liampère lorsqu'on lui relie en série une résistance de 73 800 ohms, on peut utiliser cette formule :



V = tension de la pile (1,5 volt),
1 000 = nombre fixe à utiliser pour les milliampères,
R1 = valeur de la résistance reliée en série,
Ri = résistance interne de l'instrument.

En introduisant nos données dans la formule, on obtiendra :

(1,5 x 1 000) : (73 800 + 1 200)
= 0,02 mA

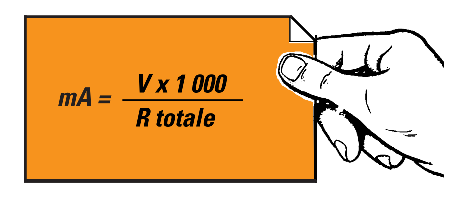
C'est pourquoi, si l'on court-circuite les deux pointes de touche de l'instrument, l'aiguille déviera à fond d'échelle car elle sera parcourue par une tension d'exactement 0,02 mA, qui équivaut à 20 microampères (voir figure 370).

Si, en additionnant R1 + Ri, on obtient une valeur de 75 000 ohms, il est évident qu'en plaçant entre les deux pointes de touche, une résistance de 75 000 ohms (voir figure 371), l'aiguille ira se positionner à la moitié de l'échelle car l'instrument sera parcouru par une tension de 0,01 milliampère seulement.

En effet, en ajoutant également la valeur de 75 000 ohms de la résistance externe à la valeur R1 + Ri, on obtiendra une valeur ohmique totale de :

73 800 + 1 200 + 75 000
= 150 000 ohms

Pour savoir quelle est la valeur du courant appliqué sur l'instrument avec cette valeur totale de résistance, on peut utiliser la formule suivante :



L'instrument sera donc parcouru par un courant de :

(1,5 x 1 000) : 150 000
= 0,01 milliampère

qui correspondent à :

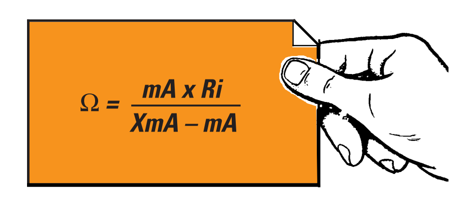
0,01 x 1 000 = 10 microampères

Plus la valeur ohmique de la résistance placée entre les deux pointes de touche sera importante, plus le courant qui parcourra l'instrument sera faible, et par conséquent, moins l'aiguille du microampèremètre déviera.

C'est la raison pour laquelle l'échelle graduée d'un ohmmètre reporte à fond d'échelle (côté droit), la valeur de 0 ohm et en début d'échelle (côté gauche), la valeur ohmique maximale (voir figure 368).

Etant donné qu'avec une seule échelle, il ne serait pas possible de calculer avec précision les résistances de faible valeur ohmique, il est nécessaire de réduire la sensibilité de l'instrument de façon à ce que l'aiguille se place à fond d'échelle avec des tensions de courant de 0,2, 2, 20, 200 milliampères.

Cette réduction de sensibilité s'obtient en reliant en parallèle des résistances de valeur appropriée à l'instrument de mesure (voir figure 369), cette valeur pouvant être calculée grâce à la formule suivante :



mA = milliampères du galvanomètre,
Ri = résistance interne du galvanomètre,
XmA = milliampères du fond d'échelle.

Donc, pour faire dévier l'aiguille à fond d'échelle avec un courant de 0,02 milliampère, on devra relier en parallèle au galvanomètre une résistance d'une valeur exacte de :

(0,02 x 1 200) : (0,2 – 0,02)
= 133,33 ohms

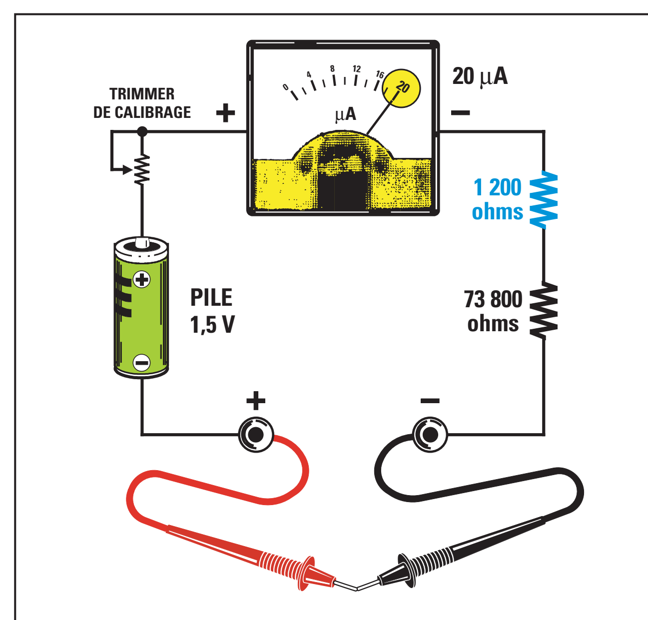


Figure 370 : Lorsqu'en fonction ohmmètre, les deux pointes de touche sont court-circuitées, l'aiguille de l'instrument dévie à fond d'échelle. Si l'aiguille ne se positionne pas exactement à fond d'échelle du fait de la décharge de la pile, il faudra que vous agissiez sur le potentiomètre de "calibrage".

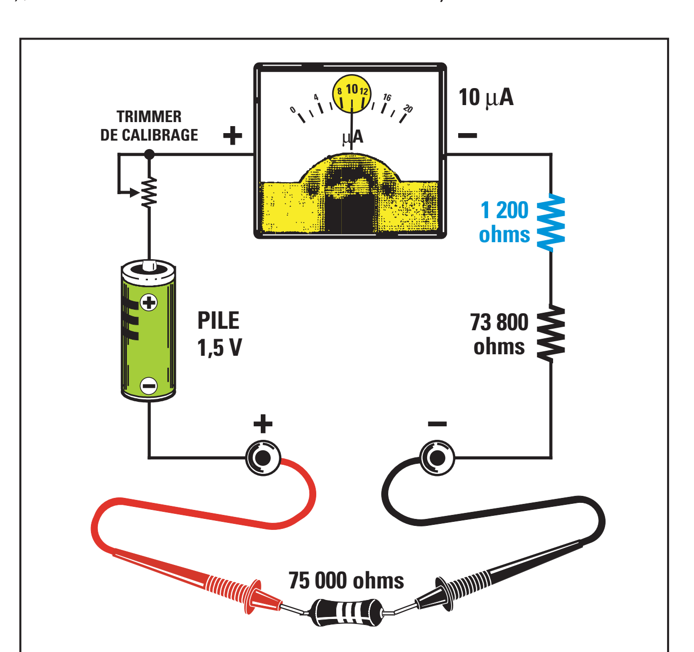


Figure 371 : En plaçant, entre les deux pointes de touche, une résistance de même valeur ohmique que la résistance placée en série avec le microampèremètre (73 800 ohms), ajoutée à celle de sa bobine (1 200 ohms), l'aiguille de l'instrument se positionnera exactement à la moitié de l'échelle.

Pour faire dévier l'aiguille à fond d'échelle avec un courant de 2 milliampères, on devra relier en parallèle au galvanomètre une résistance d'une valeur exacte de :

(0,02 x 1 200) : (2 – 0,02)
= 12,12 ohms

Grâce à la formule ci-dessus, on peut calculer la valeur de toutes les résistances à relier en parallèle au galvanomètre de façon à faire dévier l'aiguille à fond d'échelle pour les valeurs de tension de courant suivantes :

0,02 mA	**=**	**résistance de**	**133,33 Ω**
2 mA	**=**	**résistance de**	**12,12 Ω**
20 mA	**=**	**résistance de**	**1,20 Ω**
200 mA	**=**	**résistance de**	**0,12 Ω**

En ce qui concerne les mesures en ohms, on peut positionner le bouton du commutateur sur 4 valeurs de multiplication (voir figure 372) :

x1, x10, x100, x1 000

Donc, si l'aiguille du galvanomètre vient se positionner sur 18 ohms, et que le bouton est placé sur "x1", la valeur de la résistance sera alors de :

18 x 1 = 18 ohms

Si l'aiguille de l'instrument vient se positionner sur 18 ohms, et que le bouton est placé sur "x10", la valeur de la résistance sera alors de :

18 x 10 = 180 ohms

Si l'aiguille du galvanomètre vient se positionner sur 18 ohms, et que le bouton est placé sur "x100", la valeur de la résistance sera alors de :

18 x 100 = 1 800 ohms

Il est donc évident que si le bouton est placé sur "x1 000", la valeur de la résistance sera alors de :

18 x 1 000 = 18 000 ohms

Comme vous le remarquerez, on trouve sur tous les multimètres analogiques un petit bouton signalé par l'indication "ohms", comme sur la figure 372.

A chaque fois que l'on changera l'échelle des ohms, on devra régler ce bouton de façon à faire dévier l'aiguille de l'instrument exactement sur "0 ohm", qui comme on peut le voir sur la figure 368, se trouve sur la droite.

Pour effectuer ce réglage, il est nécessaire de court-circuiter en même temps les deux pointes de touche (voir figure 370). Si l'on n'effectue pas ce réglage, chaque fois que l'on changera l'échelle du multimètre, il indiquera des valeurs ohmiques erronées.

Avantages et inconvénients des multimètres analogiques

Même si les multimètres analogiques sont beaucoup plus économiques que les multimètres digitaux et que les amateurs les préfèrent pour cette raison, ils présentent toutefois plusieurs inconvénients à ne pas sous-évaluer.

Le premier inconvénient est d'avoir à l'écran plusieurs échelles graduées ainsi qu'un commutateur indiquant les valeurs maximales des ohms, des volts, et des milliampères, qu'il est possible de lire à l'échelle préalablement choisie.

En effet, chaque fois que l'on tourne le commutateur pour changer d'échelle, il faut rechercher l'échelle graduée correspondant aux volts CC ou aux milliampères CC (tension et courant continus), ou bien correspondant aux volts AC ou aux milliampères AC (tension et courant alternés), ainsi que celle des ohms, pour la multiplier ou la diviser ensuite par l'échelle indiquée sur le commutateur.

Par exemple, pour les volts CC, on trouve seulement deux échelles sur le cadran :

0-30 volts
0-100 volts



Figure 372 : Concernant la fonction ohmmètre, la valeur de la résistance lue sur l'échelle "Ω" sera multipliée par le facteur indiqué par le bouton des échelles, c'est-à-dire x1, x10, x100, x1K. Chaque fois que vous changerez d'échelle, vous devrez court-circuiter les deux pointes de touche et régler à nouveau le potentiomètre de calibrage.



Figure 373 : Concernant la fonction voltmètre CC (courant continu), en tournant le bouton sur les échelles indiquées 0,3, 3, 30, 300 V, la valeur sera lue sur l'échelle graduée de 0 à 30, alors qu'en tournant le bouton sur les échelles indiquées 1, 10, 100 V, la valeur sera lue sur l'échelle graduée de 0 à 100.

même s'il est possible de positionner le commutateur sur chacune de ces échelles :

0,3 volt à fond d'échelle
1 volt à fond d'échelle
3 volts à fond d'échelle
10 volts à fond d'échelle
30 volts à fond d'échelle
100 volts à fond d'échelle
300 volts à fond d'échelle

Si l'on positionne le commutateur sur "3 volts", on devra lire la valeur de la tension sur l'échelle graduée correspondant aux 30 volts, sans oublier de diviser la valeur indiquée par 10.

Si l'on positionne le commutateur sur "30 volts", on lira directement la valeur de la tension sur l'échelle graduée correspondant aux 30 volts.

Si l'on positionne le commutateur sur "300 volts", on devra lire la valeur de la tension sur l'échelle graduée correspondant aux 30 volts, sans oublier de multiplier la valeur indiquée par 10.

Si l'on positionne le commutateur sur "1 volt", on devra lire la valeur de la tension sur l'échelle graduée correspondant aux 100 volts, sans oublier de diviser la valeur indiquée par 100.

Si l'on positionne le commutateur sur "10 volts", on devra lire la valeur de la tension sur l'échelle graduée correspondant aux 100 volts, sans oublier de diviser la valeur indiquée par 10.

Pour les ohms, par contre, on trouve une seule échelle, même si le commutateur dispose de 4 positions différentes :

X1, x10, x100, x1K

Il faudra multiplier la valeur lue sur l'échelle des ohms par le nombre correspondant à la position sur laquelle sera réglé le commutateur, en tenant compte du fait que 1K équivaut à 1 000.

Avec ces multimètres analogiques, plus la valeur ohmique de la résistance augmente, moins la lecture est précise car l'échelle de l'instrument est logarithmique et diminue donc plus la valeur ohmique augmente (voir figure 368).

Le deuxième inconvénient de ces multimètres analogiques réside dans la fragilité du galvanomètre.

Si on mesure par inadvertance une tension de 100 volts avec le commutateur positionné sur "3 volts", l'aiguille de l'instrument se lancera violemment à fond d'échelle et se déformera.

Pour éviter cet inconvénient, nous conseillons de toujours régler le commutateur à l'échelle maximale, pour ensuite descendre aux échelles inférieures, jusqu'à lire la valeur exacte.

Donc, pour lire une tension inconnue, il est préférable de toujours positionner le commutateur sur "300 volts", et de descendre ensuite sur les échelles inférieures, c'est-à-dire 100, 30, et 10 volts.

Pour lire un courant inconnu, il est préférable de toujours positionner le commutateur sur "300 milliampères", puis de descendre sur les échelles inférieures, c'est-à-dire 30, 3, et 0,3.

Le troisième inconvénient est de devoir nécessairement respecter la polarité des tensions CC pour éviter que l'aiguille ne dévie en sens inverse.

C'est pour cette raison que tous les multimètres sont munis d'une pointe de touche de couleur rouge pour le positif et d'une autre de couleur noire pour le négatif.

La pointe de touche rouge doit être insérée dans la douille de sortie signalée par "+" et le noir, dans la douille de sortie signalée par "COM".

Il n'est pas nécessaire de respecter la polarité pour la mesure de tensions alternatives, de courants alternatifs et de résistances.



Figure 374 : Concernant la fonction ampèremètre CC, en tournant le bouton sur les échelles indiquées 30-0,3 µA, 3-30 mA ou 0,3-3 A, la valeur sera lue sur l'échelle graduée de 0 à 30. Pour l'échelle 0,3 A, la valeur sera divisée par 100, tandis que pour l'échelle 3 A, elle sera divisée par 10.



Figure 375 : Concernant la fonction voltmètre ou ampèremètre AC (courant alternatif), la valeur de la tension ou du courant alternatif sera lue sur l'échelle de couleur rouge. Avant d'effectuer une mesure AC, vous devrez penser à déplacer le levier de l'inverseur, de la position "CC-Ω" à la position "AC". Sur certains multimètres, l'inverseur est remplacé par une douille "AC" sur laquelle doit être déplacé le cordon de mesure rouge.

Comment choisir un multimètre analogique

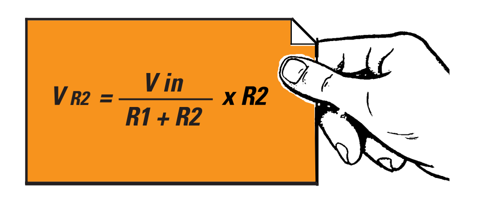
Si vous décidez d'acquérir un multimètre analogique, choisissez-en toujours dont la résistance en ohms par volt est importante, de façon à réduire au maximum les erreurs de mesures.

Plus la valeur "ohms par volt" sera élevée, moins l'erreur de mesure sera importante. Tous les multimètres ayant une résistance inférieure à 20 000 Ω par volt sont donc à bannir.

Pour mieux vous faire comprendre pourquoi la résistance ohms par volt des multimètres introduit des erreurs, nous vous proposons quelques exemples simples.

Si on relie en série deux résistances identiques de 82 000 ohms et qu'on leur applique une tension de 12 volts, à la jonction (voir figure 376), il n'y aura plus que la moitié de la tension, c'est-à-dire 6 volts.

En effet, pour calculer la valeur de tension qui se trouve sur les extrémités de la seconde résistance, R2, on peut utiliser cette formule :



Vin = valeur de la tension d'alimentation,
R1 = valeur de la résistance au-dessus, en kilohms,
R2 = valeur de la résistance au-dessous, en kilohms.

Note = nous conseillons de toujours convertir la valeur des résistances R1 et R2 d'ohms en kilohms, afin d'avoir des nombres comprenant moins de zéro.

Pour effectuer cette conversion, il suffit de diviser les ohms par 1 000.

Donc, si on applique une tension de 12 volts sur les deux résistances de 82 kilohms, reliées en série, R1 et R2, aux extrémités de R2, on obtiendra une tension de :

12 : (82 + 82) x 82 = 6 volts

Si on mesure cette tension à l'aide d'un multimètre ayant une sensibilité de 10 000 ohms par volt réglé sur l'échelle "10 volts", on reliera aussi en parallèle la R2 à la résistance interne du multimètre, qui, positionné sur 10 volts à fond d'échelle, sera de :

10 000 x 10 = 100 000 ohms, équivalents à 100 kilohms

En reliant en parallèle R2, de 82 kilohms, et une résistance de 100 kilohms, on obtiendra une valeur de résistance égale à :

(82 x 100) : (82 + 100) = 45 kilohms

Donc, on ne reliera plus une résistance R1 de 82 kilohms à la résistance R2 de 82 kilohms, mais une résistance de 45 kilohms (voir figure 376), et avec ces deux différentes valeurs ohmiques, on lira une tension de seulement :

12 : (82 + 45) x 45 = 4,25 volts

même si en réalité, il s'agit de 6 volts.

Si on mesure cette même tension à l'aide d'un voltmètre électronique d'une sensibilité de 1 mégohm par volt sur toutes les échelles (voir figure 378), on reliera en parallèle R2 de 82 kilohms

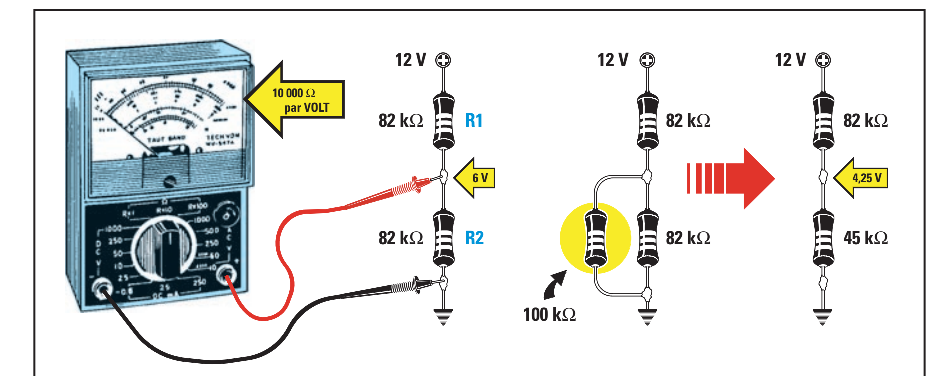


Figure 376 : Si vous voulez lire les 6 volts qui se trouvent aux extrémités de la résistance R2 à l'aide d'un multimètre d'une sensibilité de seulement "10 000 ohms par volt", vous lirez une tension de 4,25 volts, car la résistance de 100 kilohms du multimètre se trouve reliée en parallèle à la résistance R2.

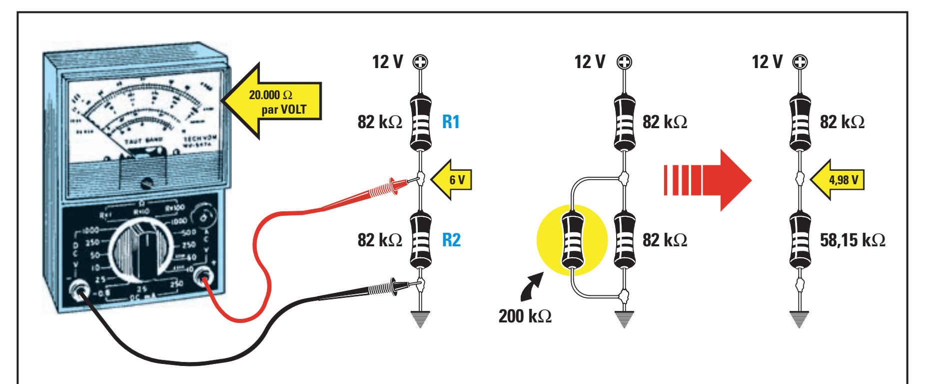


Figure 377 : Si vous voulez lire les 6 volts qui se trouvent aux extrémités de la résistance R2 à l'aide d'un multimètre d'une sensibilité de "20 000 ohms par volt", vous lirez une tension de 4,98 volts, car une résistance d'une valeur supérieure, dans ce cas 200 kilohms, se trouve reliée en parallèle à la résistance R2.

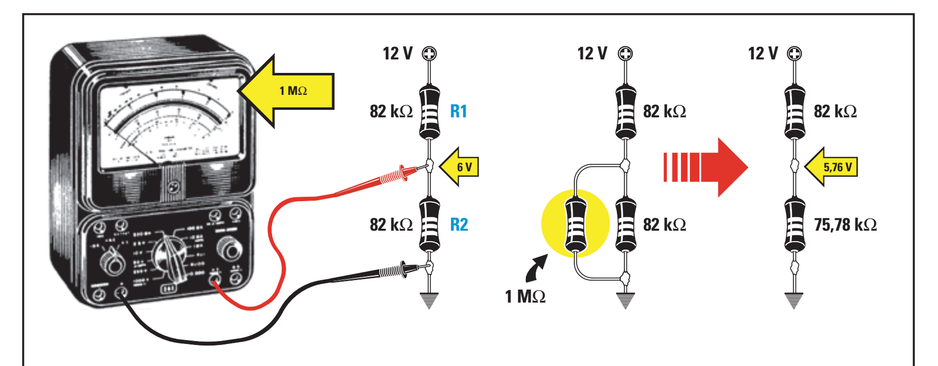


Figure 378 : Si vous voulez lire les 6 volts qui se trouvent aux extrémités de la résistance R2 à l'aide d'un voltmètre électronique dont la sensibilité est généralement de "1 mégohm", vous lirez une tension de 5,76 volts, c'est-à-dire une valeur beaucoup plus proche des 6 volts réels, l'erreur n'étant alors que de 0,24 volt.

et une résistance de 1 mégohm, égale à une valeur de 1 000 kilohms, on obtiendra alors une valeur de résistance égale à :

(82 x 1 000) : (82 + 1 000)
= 75,78 kilohms

On obtiendra ainsi, en série à la R1 de 82 kilohms, une résistance R2 de 75,78 kilohms (valeur de R2 avec la valeur ohmique du multimètre en parallèle).

Avec ces deux valeurs ohmiques, on lira une tension de :

12 : (82 + 75,78) x 75,78 = 5,76 volts

c'est-à-dire une valeur très proche des 6 volts réels.

Donc, plus la valeur ohm par volt d'un multimètre analogique est grande, plus l'erreur que l'on retrouve en lisant une tension aux extrémités de n'importe quel pont résistif est petite.

Nous rappelons que ces erreurs ne se présentent que si l'on mesure une tension aux extrémités d'un pont résistif, c'est-à-dire aux extrémités d'une ou plusieurs résistances, d'une valeur ohmique importante, reliées en série.

En mesurant la tension fournie par une pile ou une alimentation stabilisée, on ne relèvera aucune erreur, et donc, les volts lus seront équivalents aux volts réels.

C'est pour cette raison que vous ne devez pas vous inquiéter si, vous trouvez toujours une valeur de tension inférieure à celle indiquée aux extrémités d'un pont résistif, car en reliant en parallèle la résistance du pont résistif et la résistance interne du multimètre (voir figures 376 et 377), la tension descendra.

Les tensions indiquées sur les schémas électriques sont mesurées à l'aide de voltmètres électroniques.

Les multimètres digitaux

Les multimètres digitaux sont complètement différents des analogiques car à la place de l'instrument à aiguille, ils disposent d'un afficheur à cristaux liquides appelé LCD, permettant de faire apparaître la valeur des volts, des ampères ou des ohms en chiffres.

Sur ces multimètres, la valeur de tension ou de courant appliqué sur les pointes de touche est convertie par un circuit intégré spécifique, en un signal digital permettant de faire s'allumer les segments de l'afficheur de façon à obtenir un chiffre.

Comme vous pourrez le remarquer, le nombre à fond d'échelle de ces instruments digitaux, est toujours un multiple de 2 (sauf les 1 000 volts), comme indiqué sur ces tableaux :

Mesure de tension
200 millivolts
2 volts
20 volts
200 volts
1 000 volts

Mesure de courant
200 microampères
2 milliampères
20 milliampères
200 milliampères
2 ampères

Dans un multimètre digital à 4 digits, les 3 digits de droite sont munis de leurs 7 segments, et peuvent donc afficher tous les chiffres de 0 à 9, tandis que le premier digit, celui de gauche, ne peut afficher que le chiffre 1 plus un signe négatif.

C'est pour cette raison que, même s'ils sont équipés de 4 digits, ces multimètres font partie de la catégorie des multimètres à 3 chiffres et demi car le premier digit ne peut pas afficher de chiffre supérieur à 1.

Donc, même si l'on règle le commutateur du multimètre sur 20 volts à fond d'échelle, on ne réussira jamais à faire apparaître 20,00 volts sur l'afficheur, mais seulement 19,99 volts.

Si on le règle sur 200 volts, on ne réussira jamais à faire apparaître 200,0 volts sur l'afficheur, mais seulement 199,9 volts car, comme nous l'avons déjà signalé, le premier digit ne pourra jamais être supérieur au chiffre 1.

Sur la plupart des multimètres digitaux, si on applique une valeur de tension ou de courant supérieure à l'échelle

Mesure de résistance
200 ohms
2 kilohms
20 kilohms
200 kilohms
2 mégohms
20 mégohms
200 mégohms



Figure 379 : Un bon multimètre digital doit avoir au moins 4 chiffres, qui correspondent en fait à 3 chiffres et demi, car le premier, celui de gauche, ne permet jamais de visualiser un nombre supérieur à 1. Choisissez si possible un modèle faisant apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides, les symboles W, kW, MW, µV, V, µA, mA, même s'il doit vous coûter plus cher. Vous saurez ainsi toujours et sans risque d'erreur sur quelle gamme vous vous trouvez.

choisie, soit aucune valeur n'apparaîtra sur l'afficheur, soit tous les digits se mettront à clignoter, soit le digit le plus à gauche affichera 1, pour nous signaler qu'il faut passer à l'échelle supérieure.

Sur d'autres multimètres, c'est l'inscription "OL" qui s'affichera, ce qui signifie "Over Load" ou dépassement d'échelle.

Dans tous les cas, la notice de l'appareil vous donnera toutes les explications nécessaires pour savoir quelle alerte sera mise en œuvre pour vous signaler que vous n'êtes pas sur l'échelle correcte.

Comme dans le cas des multimètres analogiques, lorsque la valeur à mesurer est inconnue, il est toujours intelligent de partir de l'échelle la plus haute pour descendre ensuite vers l'échelle correcte.



Figure 380 : Toutes les échelles des multimètres digitaux sont toujours des multiples de 2 car le chiffre le plus grand que l'on puisse lire est "1.999". Le "point" qui s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides équivaut à une virgule, "1.234" ohms équivalent donc à 1,234 kilohm.

Avantages et inconvénients des multimètres digitaux

Les multimètres digitaux, même s'ils s'avèrent légèrement plus coûteux que les multimètres analogiques, présentent de nombreux avantages.

Le premier est qu'ils ont une résistance interne élevée, qui se trouve normalement aux alentours de 1 mégohm par volt sur toutes les échelles.

Donc, si l'on règle un multimètre digital sur 0,2, 20, 200, ou 1 000 volts à fond d'échelle, on aura toujours une résistance interne de 1 mégohm et cela réduira l'erreur de lecture lorsque l'on voudra mesurer une tension sur n'importe quel pont résistif. En effet, si l'on voulait mesurer la tension présente sur le partiteur résistif R1-R2 de la figure 378 à l'aide d'un multimètre digital, cela reviendrait à relier en parallèle à R2 une résistance de 1 mégohm.

Le deuxième avantage est la lecture simplifiée car les valeurs de tension, de courant ou de résistance sont directement visualisées en chiffres sur l'afficheur à cristaux liquides.

Et, enfin, le troisième avantage, c'est de ne pas avoir d'aiguille qui risque à tout moment de se déformer si par inattention on a choisi une échelle inférieure à la valeur à mesurer.

Même si l'on trouve sur ces multimètres deux pointes de touche de couleurs différentes, il n'est pas nécessaire de respecter de polarité, puisque l'afficheur nous indiquera si nous sommes entrés dans la douille positive avec la polarité positive ou négative.

Si "4.50" volts s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, cela signifie que la polarité est correcte. Si au contraire un signe négatif s'affiche devant le chiffre, par exemple "–4.50" volts, cela signifie que nous avons relié la polarité négative de la tension que nous mesurons sur la douille positive.



Le seul inconvénient des multimètres digitaux est que le dernier chiffre de droite est souvent instable. Donc, si on mesure une tension exacte de 4,53 volts, le dernier chiffre 3 variera en continu de plus ou moins 1 chiffre.

Il est donc normal de voir ce chiffre changer sur l'afficheur à cristaux liquides et passer de "4.53" à "4.52" ou bien "4.54".

Comme il est rare que sur les modes d'emploi on explique comment lire le chiffre qui apparaît sur l'afficheur en fonction de l'échelle choisie, nous allons essayer de le faire nous-mêmes avec des exemples très simples.

Avant tout, rappelons que le point qui s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides doit toujours être interprété comme la virgule décimale.

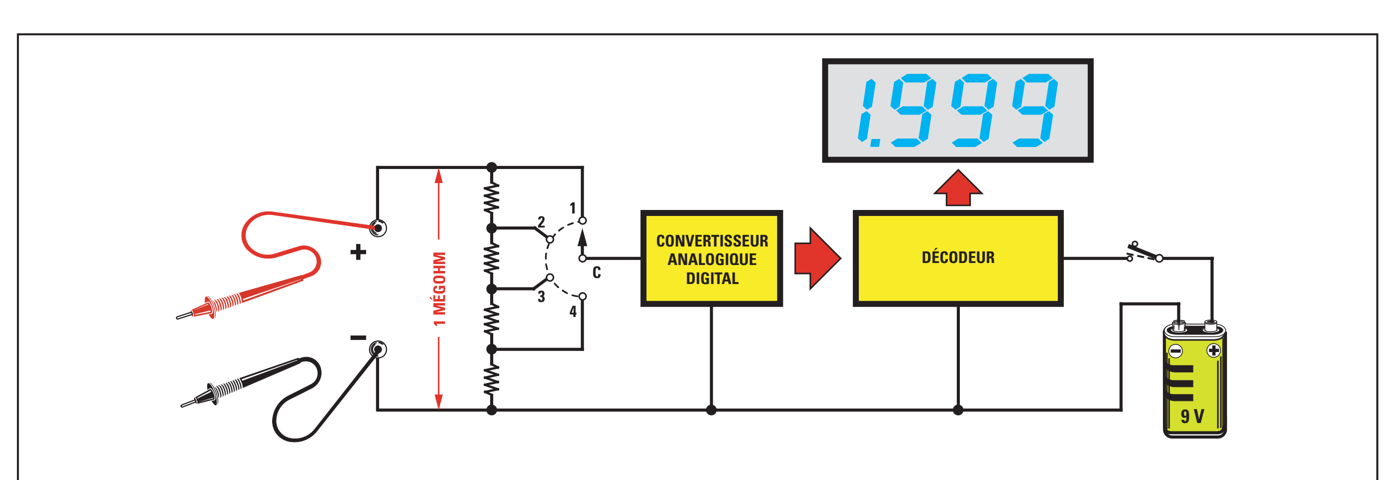


Figure 381 : On place à l'entrée d'un multimètre digital un pont résistif de 1 mégohm. La tension prélevée de ce pont est convertie, par un circuit intégré spécifique, en un signal digital. Ce signal est ensuite appliqué sur un décodeur qui allume les segments des afficheurs LCD de façon à faire apparaître une valeur numérique.

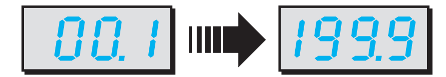
Lecture des volts

En réglant le multimètre à l'échelle 200 millivolts, on verra s'afficher sur l'afficheur à cristaux liquides :



La tension la plus petite que l'on pourra lire sur cette échelle est de "00.1" millivolt, ce qui correspond à 0,1 millivolt.

La tension maximale que l'on pourra lire est de "199.9" millivolts, ce qui correspond à environ 0,2 volt.



Si "05.0" apparaît sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la tension sera de 5,0 millivolts, car le 0 qui se trouve devant le chiffre 5 n'est pas significatif.

Si "83.5" apparaît, puisque le point équivaut à une virgule, on lira 83,5 millivolts.

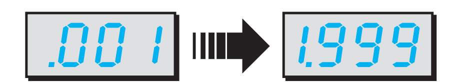


En réglant le multimètre sur l'échelle 2 volts, on verra ce nombre s'afficher sur l'afficheur à cristaux liquides :



La tension la plus petite que l'on pourra lire sur cette échelle est de ".001" volt, ce qui correspond à 1 millivolt.

La tension maximale que l'on pourra lire est de "1.999" volts, ce qui correspond à environ 2 volts.



Si ".050" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la tension sera de 50 millivolts, tandis que si "1.500" s'affiche, cette valeur sera alors de 1,5 volt.

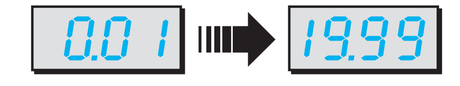


En réglant le multimètre à l'échelle 20 volts, on verra s'afficher ce nombre sur l'afficheur à cristaux liquides :



La tension la plus petite que l'on pourra lire sur cette échelle est de "0.01" volt, ce qui correspond à 10 millivolts.

La tension maximale que l'on pourra lire est de "19.99" volts, ce qui correspond à environ 20 volts.



Si "0.15" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la tension sera de 0,15 volt, ce qui correspond à 150 millivolts.

Si "12.50" s'affiche, la valeur de la tension sera alors de 12,5 volts.



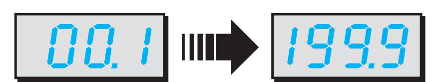
20 volts

En réglant le multimètre à l'échelle 200 volts, on verra s'afficher ce nombre sur l'afficheur à cristaux liquides :



La tension la plus petite que l'on pourra lire sur cette échelle est de "00.1" volt, soit 100 millivolts.

La tension maximale que l'on pourra lire est de "199.9" volts, soit environ 200 volts.



Si "35.5" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la tension sera de 35,5 volts, tandis que si "120.5" s'affiche, la valeur de la tension sera alors de 120,5 volts.

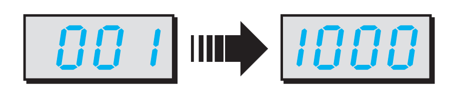




En réglant le multimètre à l'échelle "1 000" volts, on verra s'afficher ce nombre sur l'afficheur à cristaux liquides :



La tension la plus petite que l'on pourra lire sur cette échelle est de "001" volt, soit 1 volt et la tension maximale, de "1 000" volts.



Si "18" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la tension sera de 18 volts, tandis que si "150" s'affiche, la valeur de la tension sera alors de 150 volts.



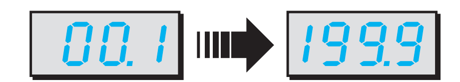
Lecture des milliampères

En réglant le multimètre sur l'échelle 200 microampères, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



Le courant minimum que l'on pourra lire sur cette échelle est de "00.1" microampère.

Le courant maximal que l'on pourra lire est de "199.9" microampères, soit environ 200 microampères.



Si "25.0" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur du courant sera de 25 microampères, tandis que si "100.0" s'affiche, la valeur du courant sera alors de 100 microampères.





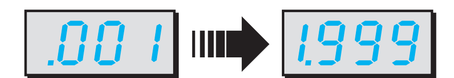


En réglant le multimètre sur l'échelle 2 milliampères, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



Le courant minimum que l'on pourra lire sur cette échelle est de ".001" milliampère, ce qui correspond à 1 microampère.

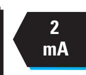
Le courant maximal que l'on pourra lire est de "1.999" milliampères, soit environ 2 milliampères.



Si ".500" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur du courant sera de 0,5 milliampère, tandis que si "1.500" s'affiche, la valeur du courant sera alors de 1,5 milliampère.





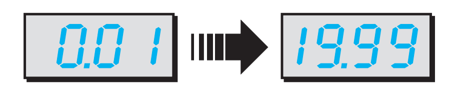


En réglant le multimètre sur l'échelle 20 milliampères, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



Le courant minimum que l'on pourra lire sur cette échelle est de "0.01" milliampère, ce qui correspond à 10 microampères.

Le courant maximal que l'on pourra lire est de "19.99" milliampères, ce qui correspond à environ 20 mA.



Si "0.50" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur du courant sera de 0,5 milliampère, tandis que si "15.00" s'affiche, la valeur du courant sera alors de 15 milliampères.





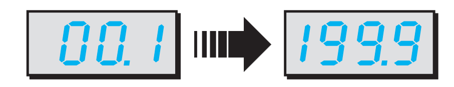


En réglant le multimètre sur l'échelle 200 milliampères, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



Le courant minimum que l'on pourra lire sur cette échelle est de "00.1" milliampère, ce qui correspond à 100 milliampères.

Le courant maximal que l'on pourra lire est de "199.9" milliampères, ce qui correspond à environ 200 mA.



Si "50.0" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur du courant sera de 50 milliampères, tandis que si "150.0" s'affiche, la valeur du courant sera alors de 150 milliampères.





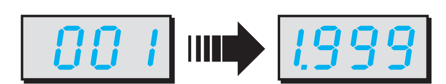


En réglant le multimètre sur l'échelle 2 ampères, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



Le courant minimum que l'on pourra lire sur cette échelle est de "001" ampère, ce qui correspond à 1 mA.

Le courant maximal que l'on pourra lire est de "1.999" milliampère, et puisque le point équivaut à une virgule, on lira 1,999 ampère, soit environ 2 ampères.



Si "050" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur du courant sera de 50 milliampères, tandis que si "1.500" s'affiche, la valeur du courant sera alors de 1,5 ampère.





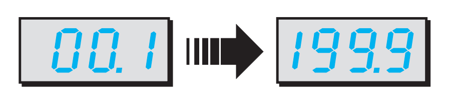


Lecture des ohms

En réglant le multimètre sur l'échelle 200 ohms, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



La valeur ohmique minimum que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "00.1" ohm, et la valeur maximale est de "199.9" ohms, soit environ 200 ohms.



Si "00.5" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera de 0,5 ohm, tandis que si "150.0" s'affiche, la valeur de la résistance sera alors de 150 ohms.





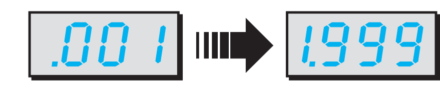


En réglant le multimètre sur l'échelle 2 kilohms, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



La valeur ohmique minimum que l'on pourra lire sur cette échelle, est de ".001" kilohm, ce qui correspond à 1 ohm (0,001 x 1 000 = 1).

La valeur ohmique maximale que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "1.999" kilohm, ce qui correspond à environ 2 kilohms.



Si ".050" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera de 0,050 kilohm, ce qui correspond à :

0,050 x 1 000 = 50 ohms

Si "1.500" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de 1,5 kilohm, ce qui correspond à :

1,500 x 1 000 = 1 500 ohms







En réglant le multimètre sur l'échelle 20 kilohms, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :

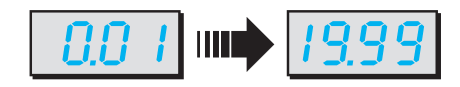


La valeur ohmique minimum que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "0.01" kilohm, ce qui correspond à 10 ohms :

0,01 x 1 000 = 10

La valeur ohmique maximale que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "19.99" kilohm, ce qui correspond à environ 20 ohms :

19,99 x 1 000 ≠ 20



Si "0.50" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera de 500 ohms :

0,050 x 1 000 = 500

Si "15.00" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de 15 kilohms :

15,00 x 1 000 = 15 000 ohms

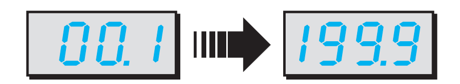


En réglant le multimètre sur l'échelle 200 kilohms, on verra apparaître sur les afficheurs de segments :



La valeur ohmique minimum que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "00.1" kilohm, ce qui correspond à 100 ohms (0,1 x 1 000 = 100).

La valeur ohmique maximale que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "199.9" kilohms, ce qui correspond à environ 200 kilohms.



Si "01.5" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de 1,5 kilohm, ce qui correspond à 1 500 ohms.

Si "150.0" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de 150 kilohms, ce qui, comme vous le savez sans doute déjà, correspond à 150 000 ohms.







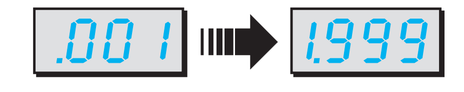
En réglant le multimètre sur l'échelle 2 mégohms, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



La valeur ohmique minimum que l'on pourra lire sur cette échelle, est de ".001" mégohm, ce qui correspond à :

0,001 x 1 000 000 = 1 000 ohms

La valeur ohmique maximale que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "1.999" mégohms, soit environ 2 megohms.



Si ".047" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de :

0,0470 x 1 000 000
= 47 000 ohms

Si "1.200" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de 1,2 mégohm.

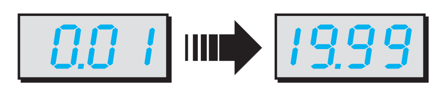


En réglant le multimètre à l'échelle 20 mégohms, on verra apparaître sur l'afficheur à cristaux liquides :



La valeur ohmique minimum que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "0.01" mégohm, ce qui correspond à 10 kilohms ou 10 000 ohms.

La valeur ohmique maximale que l'on pourra lire sur cette échelle, est de "19.99" mégohms, soit environ 20 megohms.



Si "0.56" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors équivalente à :

0,56 x 1 000 000
= 560 000 ohms

Si "15.00" s'affiche sur l'afficheur à cristaux liquides, la valeur de la résistance sera alors de 15 mégohms.



Comment choisir un multimètre digital

Si vous décidez à faire l'acquisition d'un multimètre digital, vous devrez vérifier :

- qu'il soit bien équipé d'un afficheur à 4 digits correspondant à 3 chiffres et demi,

- que les symboles V pour les volts et mV pour les millivolts apparaissent bien sur l'afficheur à cristaux liquides lorsque vous voulez mesurer des tensions,

- que les symboles A pour les ampères et mA pour indiquer les milliampères apparaissent bien sur l'afficheur à cristaux liquides lorsque vous voulez mesurer du courant,

- que les symboles Ω pour indiquer les ohms, kΩ pour les kilohms et MΩ pour les mégohms apparaissent bien sur l'afficheur à cristaux liquides lorsque vous voulez mesurer des résistances,

- que la valeur de sa résistance d'entrée ne soit pas inférieure à 1 mégohm, et nous insistons sur ce point car il existe dans le commerce des multimètres digitaux qui ont une résistance d'entrée inférieure à 30 000 ohms, et qui sont donc de moins bonne qualité qu'un médiocre multimètre analogique.

Certains multimètres sont très complets et font apparaître certaines indications complémentaires comme "Low Batt" (batterie faible) sur l'afficheur à cristaux liquides lorsque la pile interne est déchargée.

Ils peuvent disposer de nombreuses fonctions supplémentaires comme un transistormètre par exemple, tout devient alors une question de prix.

Pour mesurer les résistances

Pour faire une mesure juste d'une résistance, vous ne devez jamais toucher ni

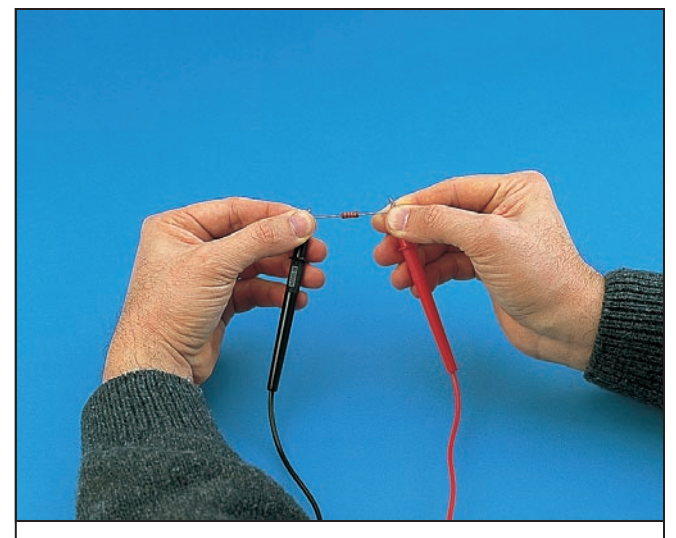


Figure 382 : Lorsque vous mesurez une résistance, ne touchez pas ses deux broches avec les mains car le multimètre additionnera la valeur ohmique de votre corps à celle de la résistance.

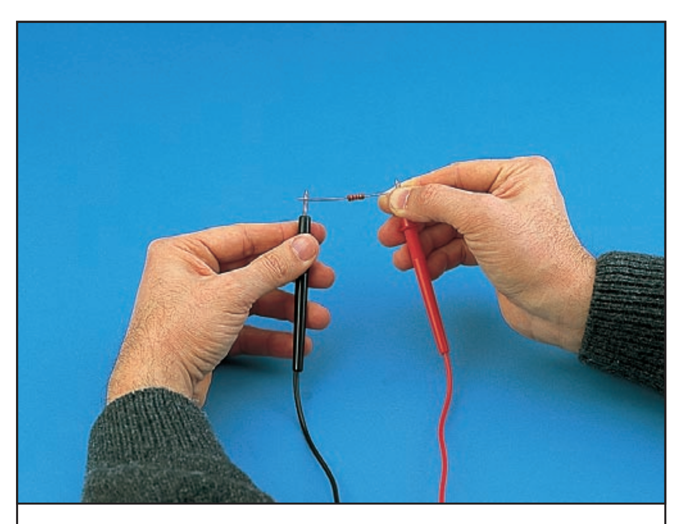


Figure 383 : Pour éviter les erreurs de mesure, il est toujours préférable d'appuyer la résistance sur une table et de placer les pointes de touches sur ses pattes. A défaut il ne faut maintenir résistance et pointe de touche avec les doigts que d'un seul côté.

les pattes de la résistance ni les pointes de touche avec les mains (voir figure 382).

Dans le cas contraire, le multimètre ajoute la valeur ohmique de notre corps à celle de la résistance.

Lorsque les mains sont humides, cette valeur peut même être inférieure à 200 kilohms.

Donc, en reliant en parallèle la valeur de la résistance à mesurer, que l'on appellera R1, et la résistance de notre corps, que l'on appellera RX, on obtiendra une valeur ohmique égale à :

ohms = (R1 x RX) : (R1 + RX)

En admettant que l'on mesure une résistance de 100 kilohms, en tenant ses pattes bien serrées entre les doigts, et en admettant que la résistance de notre corps soit de 150 kilohms, on lira une valeur de :

(100 x 150) : (100 + 150)
= 60 kilohms

Si l'on mesure des résistances d'une valeur beaucoup plus élevée, par exemple 330 kilohms, on obtiendra une erreur supérieure, en effet, on lira sur le multimètre, une valeur de :

(330 x 150) : (330 + 150)
= 103,12 kilohms

c'est-à-dire moins d'un tiers de la valeur ohmique réelle de la résistance.

Pour éviter ces erreurs, il est préférable de poser la résistance sur une table en bois ou sur un sous-main d'électronicien en caoutchouc puis de poser les pointes de touche sur les pattes. A défaut, il ne faut tenir qu'un côté (voir figure 383).

Ne vous étonnez pas si, en mesurant une résistance dont le code des couleurs indique une valeur de 15 000 ohms, le multimètre vous signale une valeur inférieure ou supérieure. Rappelez-vous que tous les composants électroniques ont une tolérance.

En ce qui concerne les résistances, cette tolérance varie généralement entre un minimum de 5 et un maximum de 10 %.

Donc, si une résistance dont la couleur indique qu'elle est de 15 000 ohms avec une tolérance de 5 %, sa valeur ohmique peut varier d'un minimum de 14 250 ohms à un maximum de 15 750 ohms et prendre n'importe quelle valeur entre ces deux extrêmes.

Si cette résistance a une tolérance de 10 %, sa valeur ohmique peut varier d'un minimum de 13 500 jusqu'à un maximum de 16 500 ohms et prendre n'importe quelle valeur entre ces deux extrêmes.

Ne vous préoccupez pas des tolérances

Même si la valeur indiquée sur les résistances ne correspond jamais à leur valeur réelle en raison des tolérances, cela ne doit pas vous préoccuper car tous les circuits électroniques sont montés en tenant compte de ces facteurs.

Si ce n'était pas le cas, il serait impossible de réaliser un montage électronique, car outre les résistances, tous les autres composants, tels que les condensateurs, les transistors, les transformateurs d'alimentation, etc., ont leur propre tolérance.

Ne vous inquiétez donc pas trop de ces tolérances, pas même lorsqu'il s'agit de tensions d'alimentation, car un montage prévu pour fonctionner avec une tension de 12 volts fonctionnera de manière à peu près identique avec une tension située entre 10 et 14 volts.

Lorsqu'un circuit nécessite des valeurs ohmiques ou capacitives exactes, on utilise des trimmers ou des compensateurs qui sont calibrés sur la valeur voulue. Lorsqu'on a besoin d'une valeur de tension d'alimentation exacte, on utilise des circuits intégrés stabilisateurs spécifiques.

Mesures en tension alternative

Nous n'avons pas évoqué les mesures des tensions et de courants alternatifs car elles sont identiques aux mesures des tensions et courants continus.

En effet, lorsqu'on règle le commutateur pour passer de la mesure du continu à celle de l'alternatif, que le multimètre soit analogique ou digital, le signal alternatif traverse d'abord un pont redresseur qui le transforme en signal continu.

◆ **G. M.**

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Vous réaliserez d'abord une expérience, simple et intéressante, qui a pour but de vous montrer comment obtenir une tension électrique avec une tranche de citron. Précisons tout de même, avant d'aller plus loin, que la tension générée par cette pile au citron a une puissance dérisoire, c'est-à-dire qu'elle ne fournit qu'un courant très faible, incapable d'alimenter une radio, ou même d'allumer une ampoule, aussi petite soit-elle. Cette expérience n'est autre qu'une reprise de celle effectuée par Alessandro Volta en 1800, lorsqu'il réussit à prélever la première tension électrique de sa pile rudimentaire.

Vous étudierez ensuite les interrupteurs et commutateurs.

Enfin, vous fabriquerez un petit gadget électronique qui vous permettra de mettre en pratique les connaissances acquises tout en préservant le plaisir de l'amusement.

UNE PILE AU CITRON !

Pour fabriquer cette pile, vous devez tout d'abord vous procurer des chutes de cuivre et de zinc que vous pourrez trouver gratuitement chez n'importe quel tôlier. En effet, de tels métaux sont utilisés par ces artisans pour fabriquer les gouttières et les chéneaux des maisons.

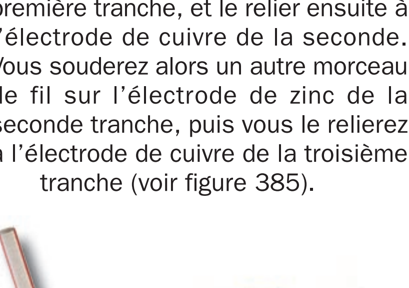
Dans les chutes, vous découperez des bâtonnets de 5 cm de long et de 0,6 cm de large environ.

Prenez un citron et coupez-le en tranches épaisses de 1,5 à 2 centimètres. Disposez ces tranches sur une assiette pour éviter que le jus ne salisse votre plan de travail.

Piquez ensuite un bâtonnet de cuivre ainsi qu'un bâtonnet de zinc, dans chaque tranche, à l'opposé l'un de l'autre.

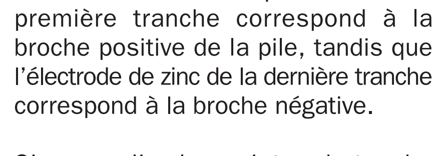
En appliquant les pointes de touche d'un multimètre sur ces deux électrodes de fortune, de façon à ce que celle du positif touche le cuivre et que celle du négatif touche le zinc (voir figure 384), vous prélèverez une tension d'environ 0,8 volt.

Pour obtenir une tension supérieure, vous devez utiliser 3 tranches de citron, en plaçant dans chacune d'elles une électrode de cuivre et une électrode de zinc.



Vous devez souder un morceau de fil de cuivre sur l'électrode de zinc de la première tranche, et le relier ensuite à l'électrode de cuivre de la seconde. Vous souderez alors un autre morceau de fil sur l'électrode de zinc de la seconde tranche, puis vous le relierez à l'électrode de cuivre de la troisième tranche (voir figure 385).





L'électrode de cuivre placée dans la première tranche correspond à la broche positive de la pile, tandis que l'électrode de zinc de la dernière tranche correspond à la broche négative.

Si vous reliez les pointes de touche d'un multimètre à cette "pile" à 3 éléments, vous prélèverez une tension d'environ 2,4 volts, ce qui signifie que l'on peut prélever une tension d'environ 0,8 volt sur chaque tranche de citron, car en fait : 0,8 x 3 = 2,4 volts.

Une fois cette première expérience effectuée, prenez 3 petits verres en plastique et placez-y une électrode de cuivre et une de zinc, puis versez-y du jus de citron de façon à mouiller les électrodes sur un centimètre ou deux.

Après avoir relié les électrodes en série, de la même façon que précédemment, et que vous appliquez, à chaque extrémité du montage, la pointe de touche positive du multimètre sur l'électrode en cuivre et la pointe de touche négative sur l'électrode en zinc, vous prélèverez une tension d'environ 2,8 volts, ce qui démontre qu'en utilisant plus de jus de citron, on réussit à prélever de chaque verre une tension de 0,93 volt.

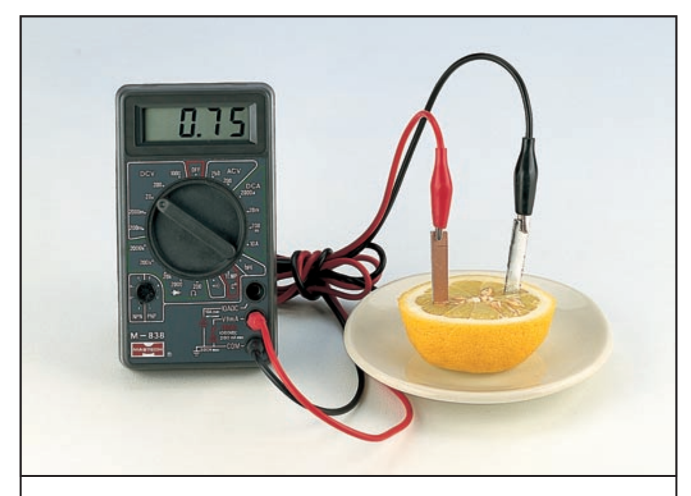


Figure 384 : En insérant un bâtonnet de cuivre et un bâtonnet de zinc dans une tranche de citron, vous pourrez prélever de cette pile rudimentaire une tension d'environ 0,8 volt.

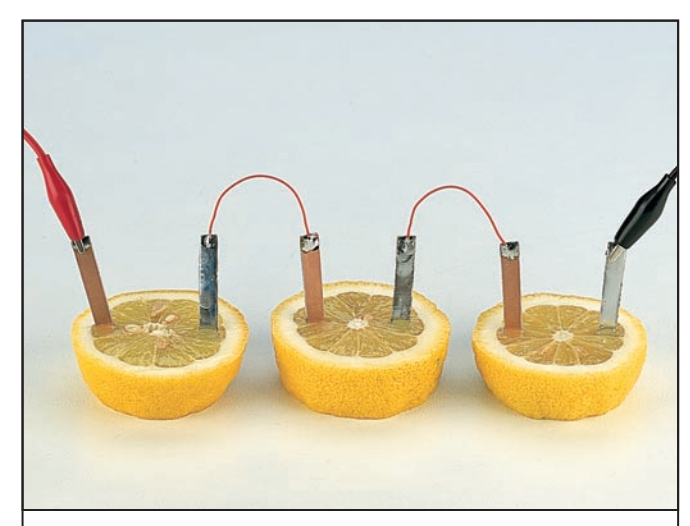


Figure 385 : En reliant en série trois tranches de citron, vous pourrez prélever une tension d'environ 2,4 volts.

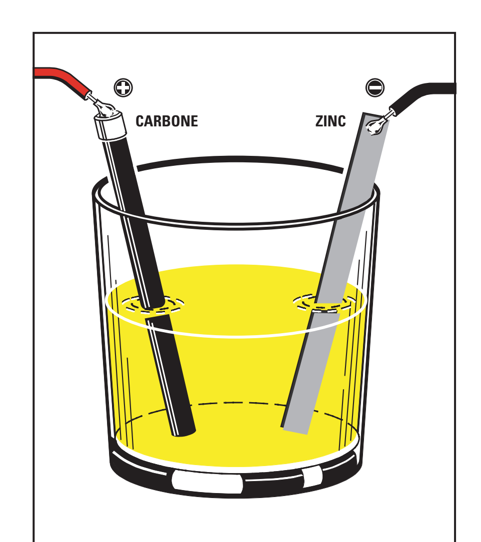


Figure 386 : En insérant une électrode de cuivre et une électrode de zinc dans un petit verre plastique et en y versant du jus de citron, vous obtiendrez une tension d'environ 0,93 volt. A la place de l'électrode de cuivre, vous pourrez utiliser la barre de carbone cylindrique qui se trouve à l'intérieur d'une pile de 1,5 volt ou de 4,5 volts.

Si vous ne parvenez pas à trouver des chutes de cuivre et de zinc, ne vous découragez pas. Procurez-vous des piles cylindriques de 1,5 volt déchargées, ou bien alors des piles carrées de 4,5 volts et ouvrez-les.

Comme la partie externe de ces piles est en zinc, vous pourrez en découper une petite bande qui vous servira pour l'électrode négative. Comme vous pourrez remarquer, l'électrode centrale de ces piles, qui correspond à l'électrode positive, est composée d'une petite barre cylindrique de carbone, et non pas de cuivre.

Si vous placez cette petite barre de carbone et une chute de zinc à l'intérieur d'un verre contenant du jus de citron (voir figure 386), vous réussirez à prélever de cette pile rudimentaire une tension de 0,93 volt.

En reliant en série deux verres, vous prélèverez une tension d'environ 1,86 volt, en en reliant trois, une tension d'environ 2,8 volts, et en en reliant quatre, la tension montera jusqu'à 3,8 volts environ.

Grâce à cette expérience toute simple, nous vous avons montré comment on peut réaliser une pile rudimentaire et comment on peut augmenter la valeur d'une tension en reliant en série plusieurs éléments.

INTERRUPTEURS ET COMMUTATEURS

Pour laisser passer ou interrompre une tension d'alimentation ou un signal HF dans un circuit électrique, on utilise des contacts mécaniques contenus dans un composant appelé "interrupteur", "inverseur" ou "commutateur".

Rappelons brièvement les caractéristiques qui différencient ces trois composants.

Les interrupteurs

Les interrupteurs ne disposent que de deux broches car ils ne contiennent que deux contacts.

On dit d'un interrupteur qu'il est "fermé", ou bien "on", lorsque ses contacts se touchent, faisant passer la tension appliquée sur l'une de ses broches sur la broche opposée (voir figure 390).

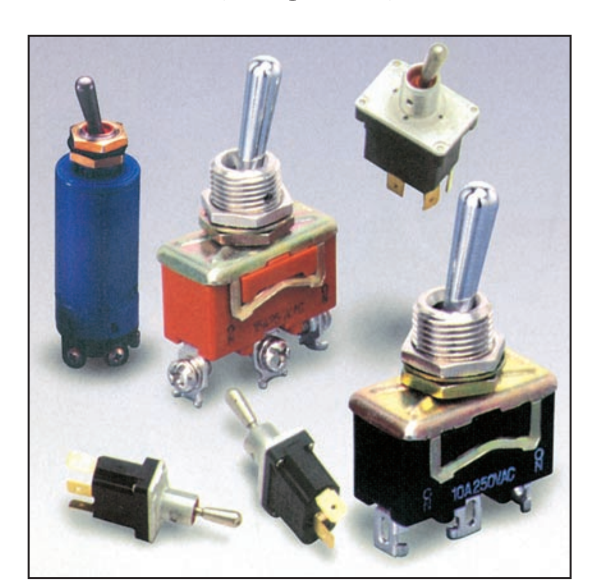
On dit d'un interrupteur qu'il est "ouvert" ou bien "off", lorsque ses contacts ne se touchent pas, et que par conséquent le flux du courant est interrompu (voir figure 390).

Dans n'importe quel appareil, que ce soit une radio, un amplificateur ou une télévision, on trouve un interrupteur destiné à couper ou à appliquer la tension d'alimentation au circuit.

Les inverseurs

Les inverseurs ont 3 broches car ils contiennent trois contacts.

En agissant sur le levier de commande, on ouvre un contact qui automatiquement ferme le contact opposé ou vice-versa (voir figure 389).





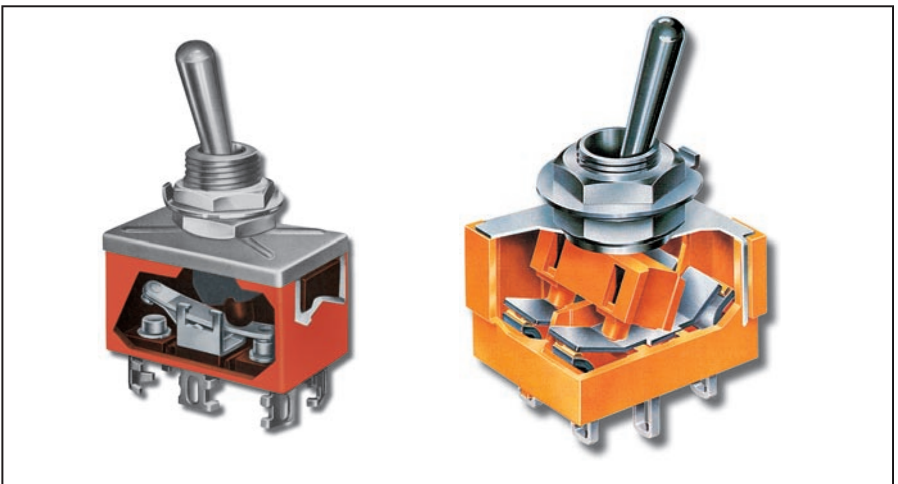


Figure 387 : Les interrupteurs et les inverseurs peuvent être de formes et de dimensions différentes. Les doubles inverseurs, comme vous pouvez le voir sur ce dessin, contiennent deux inverseurs séparés.

En reliant un inverseur comme sur le schéma de la figure 391, on pourra éteindre l'ampoule A et allumer l'ampoule B ou vice-versa.

On trouve également dans le commerce des doubles inverseurs contenant deux inverseurs séparés (voir figure 387).

Les commutateurs

Les commutateurs se différencient des interrupteurs et des inverseurs car ils sont munis d'un axe sur lequel est fixé un curseur. En faisant tourner l'axe, donc le curseur, on ferme l'un après l'autre les contacts qu'ils contiennent.

On peut trouver des commutateurs à un ou à plusieurs curseurs et avec différents contacts :

Les commutateurs rotatifs 1 circuit - 12 positions (voir les figures 392 et 395) disposent d'un seul curseur qui se ferme sur un seul des 12 contacts externes.

Les commutateurs rotatifs 2 circuits - 6 positions (voir les figures 393 et 396), disposent de 2 curseurs (voir A et B) qui se ferment sur 6 contacts. En fait, l'indication "2 circuits" sert à indiquer que ce commutateur est composé de 2 circuits munis de 6 contacts.

Les commutateurs 3 circuits - 4 positions (voir les figures 394 et 397) disposent de 3 curseurs (voir A, B et C) qui se ferment sur 4 contacts. En fait, l'indication "3 circuits" sert à indiquer que ce commutateur est composé de 3 circuits, tous munis de 6 contacts.

Les commutateurs 4 circuits - 3 positions (voir figure 398) disposent de 4 curseurs (voir A, B, C et D) qui se ferment sur 3 contacts. En fait, l'indication "4 circuits" sert à indiquer que ce commutateur est composé de 4 circuits, tous munis de 3 contacts.

Les commutateurs 6 circuits - 2 positions (voir figure 399) disposent de 6 curseurs (voir A, B, C, D, E et F) qui se ferment sur 2 contacts. L'indication "6 contacts" sert à indiquer que ce commutateur est composé de 6 circuits, tous munis de 2 contacts.

Etant donné que sur le corps des commutateurs rotatifs à plusieurs "circuits", les contacts sur lesquels les curseurs se ferment ne sont jamais indiqués, nous avons représenté chaque circuit par un dessin. En cas de doute, vous pourrez repérer chaque contact à l'aide d'un multimètre réglé sur la position "ohmmètre".

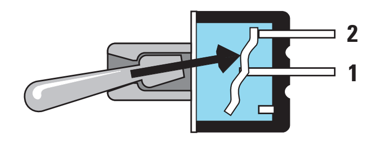
Outre les commutateurs rotatifs, il existe d'autres commutateurs appelés "digitaux" munis d'une fenêtre dans laquelle apparaît un chiffre de 0 à 9 (voir figure 400).

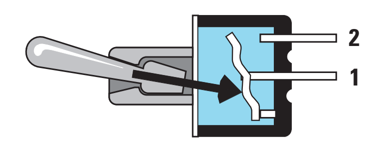
Pour changer ce chiffre, il suffit de tourner le petit bouton cranté qui se trouve sur leur corps ou d'appuyer sur les boutons "+" et "–".

En appuyant sur le bouton "+", le chiffre de la fenêtre augmente d'une unité, tandis qu'en appuyant sur le bouton "–", le chiffre diminue d'une unité.

Ces commutateurs peuvent être de type "décimal" ou de type "binaire".

Les commutateurs "décimaux" possèdent 11 pistes en cuivre sur leur verso (voir figure 401), numérotées de 0 à 9 et également indiquées par la lettre C.





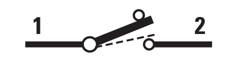
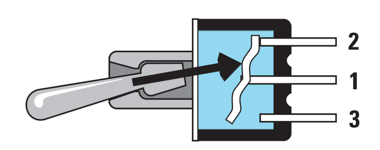
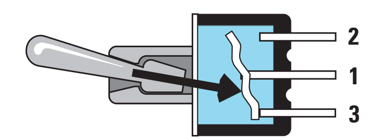


Figure 388 : En déplaçant le levier externe d'un interrupteur, une petite pièce interne de métal ouvrira ou provoquera un court-circuit entre les broches 1 et 2. Dans tous les schémas électriques, l'interrupteur est représenté avec le symbole graphique de droite.





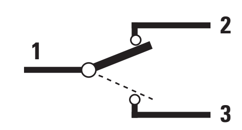


Figure 389 : En déplaçant le levier externe d'un inverseur, une petite pièce interne de métal ouvrira les broches 1 et 3 ou provoquera un court-circuit entre les broches 1 et 2, ou vice-versa. Dans tous les schémas électriques, l'inverseur est représenté avec le symbole graphique de droite.

La lettre C est la broche du curseur, donc en tournant le bouton cranté ou en appuyant sur les boutons placés à l'avant, on fermera la broche C avec les pistes numérotées 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, et 9.

Les commutateurs décimaux peuvent être comparés à un simple commutateur rotatif "1 circuit - 10 positions".

Les commutateurs binaires se différencient des commutateurs décimaux car ils n'ont que 5 pistes en cuivre (voir figure 402), numérotées 1, 2, 4 et 8 et indiquées par la lettre C.

La lettre C correspond toujours à la broche du curseur, et donc, en tournant le bouton cranté ou en appuyant sur les deux boutons placés à l'avant, on fermera la broche C avec l'une ou plusieurs des pistes numérotées 1, 2, 4, et 8.

En fait, en tournant le curseur sur les dix positions, de 0 à 9, on fermera ces contacts :

chiffre 0 = contact C ouvert
chiffre 1 = contact C fermé sur 1
chiffre 2 = contact C fermé sur 2
chiffre 3 = contact C fermé sur 1+2
chiffre 4 = contact C fermé sur 4
chiffre 5 = contact C fermé sur 1+4
chiffre 6 = contact C fermé sur 2+4
chiffre 7 = contact C fermé sur 1+2+4
chiffre 8 = contact C fermé sur 8
chiffre 9 = contact C fermé sur 1+8

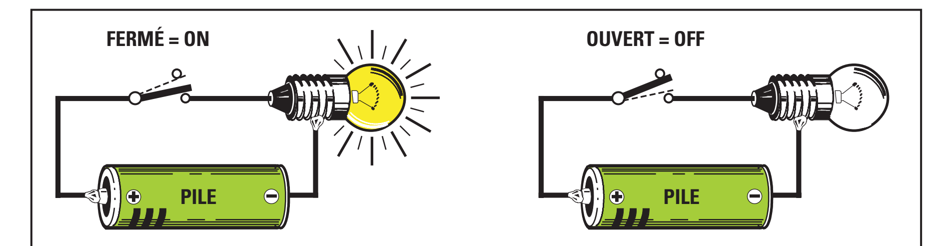


Figure 390 : Quand les broches 1 et 2 sont en court circuit, on dit que l'interrupteur est "FERME" ou bien en position "ON". Quand les broches 1 et 2 ne sont pas reliées, on dit que l'interrupteur est "OUVERT" ou bien en position "OFF". En position "ON", la tension passera de la broche 1 vers la broche 2. En position "OFF", le flux de la tension sera interrompu.

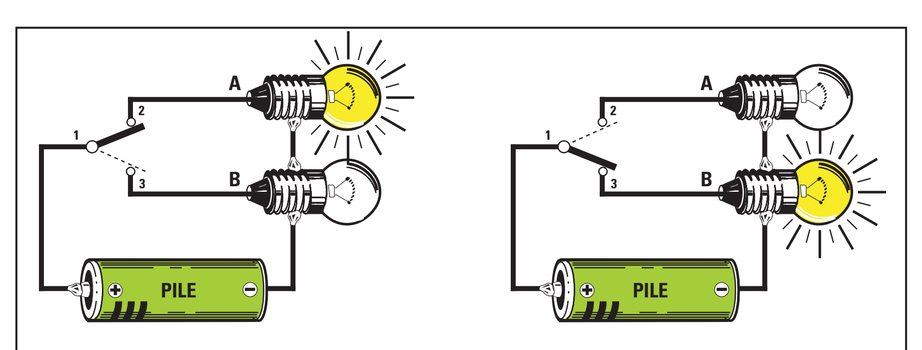
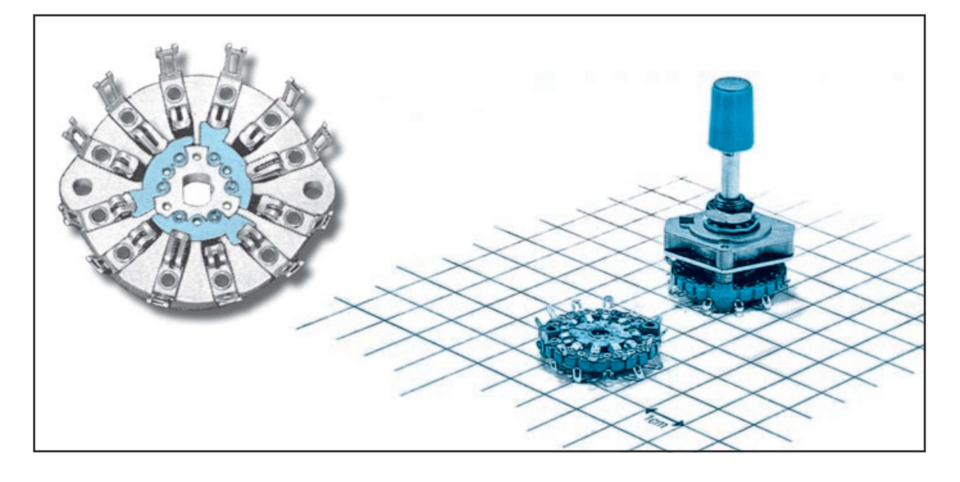


Figure 391 : En ce qui concerne les inverseurs, lorsque les broches 1 et 2 sont en court-circuit, la tension passe de la broche 1 (broche placée au centre) vers la broche 2 sans que la broche 3 soit alimentée ou vice-versa. Donc, si l'on relie deux ampoules aux broches 2 et 3, quand on allumera l'ampoule A, on verra s'éteindre l'ampoule B ou vice-versa.

Comme vous pouvez le remarquer, le curseur de ce commutateur binaire se commute sur un ou plusieurs contacts 1, 2, 4 et 8, de façon à obtenir une valeur égale à la somme du nombre qui apparaît dans la fenêtre.

Donc, si le chiffre 3 apparaît dans la fenêtre, le curseur sera immédiatement commuté sur les pistes 1+2 pour pouvoir obtenir la valeur 3. Si le chiffre 2 apparaît, le curseur sera seulement commuté sur la piste 2.



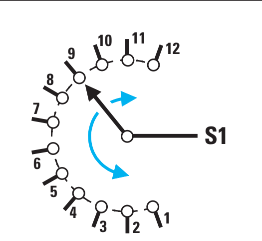


Figure 392 : Représentation graphique d'un commutateur à 1 circuit - 12 positions. Si, sur un même schéma électrique, il y a trois commutateurs identiques, le premier s'appellera S1, le second S2 et le troisième S3.

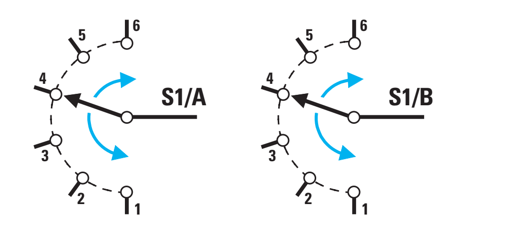


Figure 393 : Représentation graphique d'un commutateur à 2 circuits - 6 positions. Dans un schéma électrique, A et B peuvent être placés à une certaine distance l'un de l'autre.

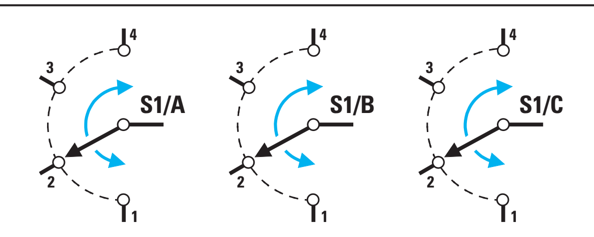


Figure 394 : Représentation graphique d'un commutateur à 3 circuits - 4 positions. Sur un schéma électrique, les trois circuits sont indiqués avec le même chiffre, S1/A, S1/B et S1/C.

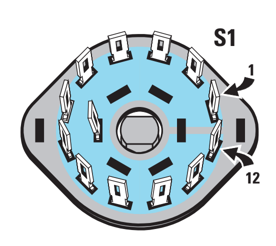


Figure 395 : Sur la galette d'un commutateur à 1 circuit - 12 positions, on trouve un seul curseur.

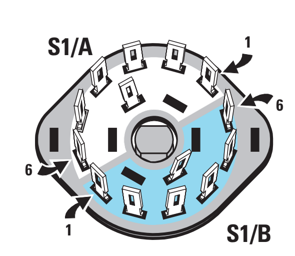


Figure 396 : Sur la galette d'un commutateur à 2 circuits - 6 positions, on trouve 2 curseurs, S1/A et S1/B.

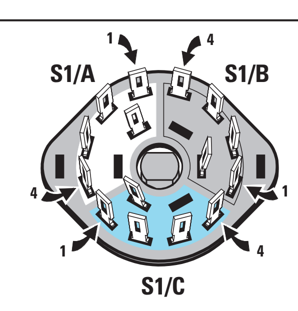


Figure 397 : Sur la galette d'un commutateur à 3 circuits - 4 positions, on trouve 3 curseurs, S1/A, S1/B, et S1/C.

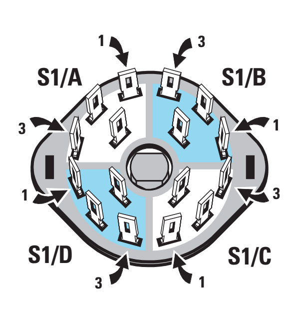


Figure 398 : Sur la galette d'un commutateur à 4 circuits - 3 positions, on trouve 4 curseurs, S1/A, S1/B, S1/C et S1/D.

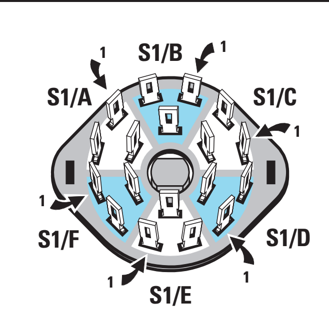
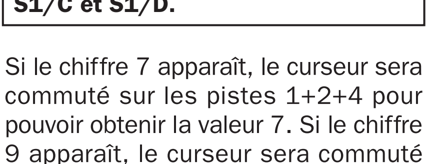


Figure 399 : Sur la galette d'un commutateur à 6 circuits - 2 positions, on trouve 6 curseurs, S1/A, B, C, D, E et F.



Si le chiffre 7 apparaît, le curseur sera commuté sur les pistes 1+2+4 pour pouvoir obtenir la valeur 7. Si le chiffre 9 apparaît, le curseur sera commuté sur les pistes 1+8 pour pouvoir obtenir la valeur 9.

Ce commutateur spécial est normalement utilisé dans de nombreux montages digitaux et vous découvrirez vous-même, lorsque l'on vous les présentera, combien ils permettent de résoudre de nombreux problèmes.



Figure 400 : Dans les commutateurs digitaux (roues codeuses), on trouve une fenêtre dans laquelle apparaît un chiffre compris entre 0 et 9. Sur cette photo, vous pouvez observer deux roues codeuses digitales couplées.

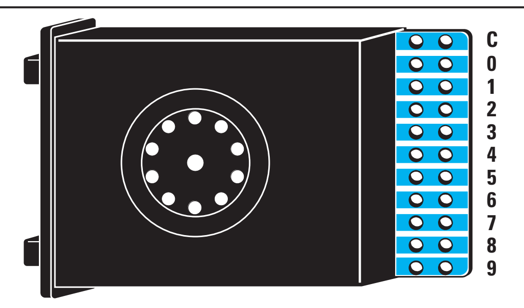


Figure 401 : Sur le circuit imprimé des commutateurs décimaux (roues codeuses décimales) se trouvent 11 pistes en cuivre. La piste du curseur rotatif est toujours indiquée par la lettre C.

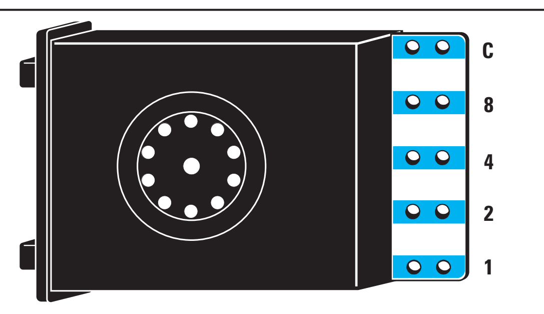


Figure 402 : Sur le circuit imprimé des commutateurs binaires (roues codeuses binaires) se trouvent 5 pistes en cuivre, indiquées C, 1, 2, 4 et 8. La piste indiquée par la lettre C est celle du curseur.

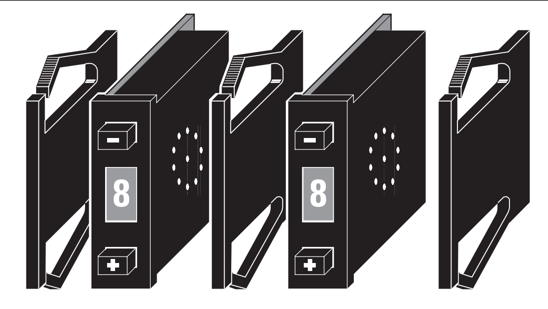




Figure 403 : Etant donné que l'on peut assembler ces commutateurs, il est possible de les coupler de façon à obtenir des blocs de 2, 3, 4, ou 5 circuits. Pour pouvoir les fixer sur la face avant d'un boîtier, on placera des flasques de chaque côté des blocs.

UN GADGET ÉLECTRONIQUE SIMPLE

Pour améliorer vos connaissances techniques en électronique, il faut que vous les mettiez toujours en pratique et c'est pour cette raison que nous vous proposons des montages simples et très utiles pour des débutants en électronique.

En réalisant ces montages, vous apprendrez à connaître de nouveaux composants et lorsque vous verrez que ces circuits fonctionnent immédiatement dès qu'ils sont alimentés, vous constaterez que l'électronique n'est pas aussi difficile que vous le pensiez au départ.



Figure 404 : Après avoir monté le circuit et l'avoir inséré à l'intérieur du boîtier, vous pourrez immédiatement jouer, en compagnie de vos amis, avec ce gadget électronique fabriqué de vos propres mains.

Le montage que nous vous présentons dans cette leçon est un jeu électronique simple qui ne manquera pas de susciter l'intérêt de vos amis, qui s'étonneront de votre réalisation, sachant que vous débutez dans ce domaine.

Ne soyez pas inquiets de trouver, sur le schéma, des composants et des symboles dont vous ignorez encore le sens. Dans une prochaine leçon nous vous expliquerons en détail ce qu'ils sont ainsi que leur fonctionnement.

Une fois que vous aurez terminé la réalisation de ce montage, vous disposerez en fait de deux jeux, un dé électronique et un jeu, moins connu mais non moins amusant, appelé "les jumeaux".

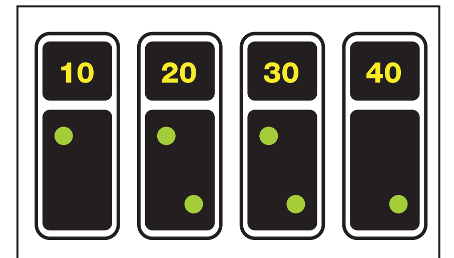


Figure 405 : Dans le jeu des "jumeaux", il ne faut additionner que les points qui apparaissent dans les cases dans lesquelles les deux diodes LED s'allument ensemble. Dans cet exemple, il faudra additionner les cases 20 et 30 seulement sans les cases 10 et 40 qui n'ont qu'une seule diode LED allumée.

Dans ce deuxième jeu, il ne faut additionner que les points qui apparaissent dans les cases dans lesquelles les deux diodes LED s'allument. Donc, si deux diodes LED s'allument dans les cases 10 et 30, vous aurez réalisé un total de 40 points, si les deux diodes LED s'allument dans les cases 20, 30 et 40, vous aurez réalisé un total de 90 points.

Lorsque les deux diodes LED s'allumeront dans les quatre cases, vous obtiendrez le maximum, qui est de 100

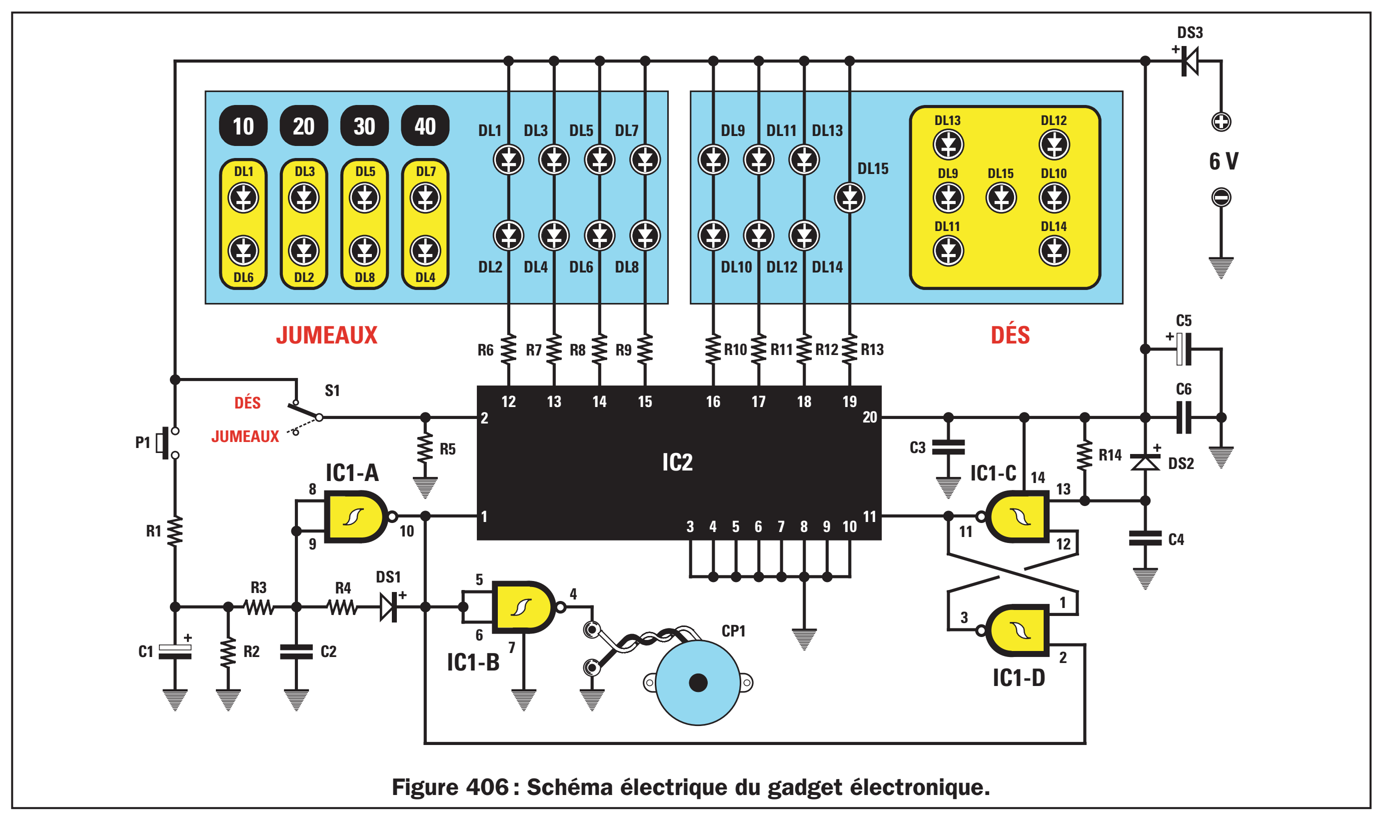


Figure 406 : Schéma électrique du gadget électronique.

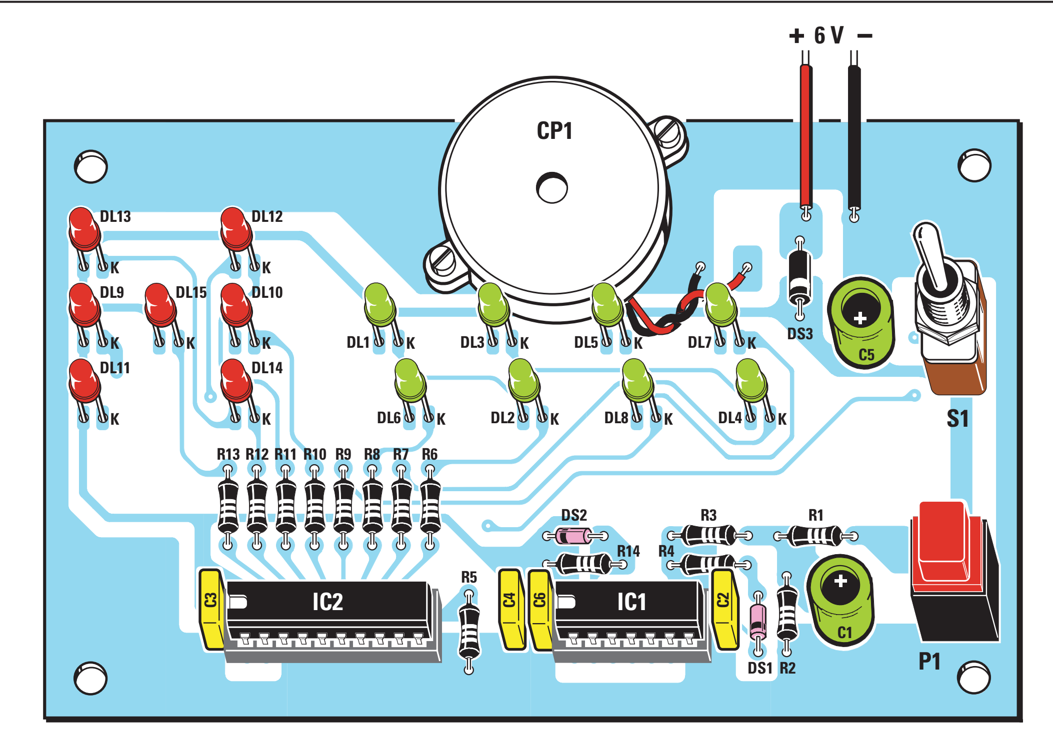


Figure 407 : Schéma d'implantation des composants du gadget électronique. Si vous vérifiez bien la valeur exacte de chaque composant avant de le souder, le circuit fonctionnera instantanément à la mise sous tension.

Liste des composants

R1	=	220 Ω
R2	=	100 kΩ
R3	=	1 MΩ
R4	=	10 kΩ
R5	=	1 kΩ
R6	=	150 Ω
R7	=	150 Ω
R8	=	150 Ω
R9	=	150 Ω
R10	=	150 Ω
R11	=	150 Ω
R12	=	150 Ω
R13	=	330 Ω
R14	=	22 kΩ
C1	=	100 µF électrolytique
C2	=	47 nF électrolytique
C3	=	100 nF polyester
C4	=	100 nF polyester
C5	=	22 µF électrolytique
C6	=	100 nF polyester
DS1	=	Diode 1N4150
DS2	=	Diode 1N4150
DS3	=	Diode 1N4007
DL1-DL15	=	Diodes LED
IC1	=	Intégré CMOS 4093
IC2	=	µcontrôleur préprogrammé EP5009
P1	=	Bouton poussoir
S1	=	Inverseur
CP1	=	Vibreur piézo

Toutes les résistances sont des 1/4 watt à 5 %.

points, tandis que si aucune diode LED ne s'allume ou une seule dans les quatre cases, vous obtiendrez le minimum, c'est-à-dire 0 point.

Ceci étant dit, nous pouvons à présent nous pencher sur le schéma de la figure 406 pour expliquer comment ce circuit fonctionne.

En appuyant sur le bouton P1, la tension positive d'alimentation de 6 volts charge le condensateur électrolytique C1. En relâchant le bouton, la tension positive emmagasinée par ce condensateur électrolytique va alimenter les broches 8 et 9 de IC1/A, ce composant marqué d'un symbole étrange dont nous ne vous avons pas encore parlé et qui, en fait, n'est autre qu'une porte logique appelée NAND.

Tant que ce condensateur C1 est chargé, une fréquence à onde carrée entre par la broche 1 du rectangle noir appelé IC2, qui n'est autre qu'un circuit intégré digital programmé, et ressort par la broche 10 de IC1/A.

Ce circuit intégré permet de court-circuiter à masse de façon aléatoire, les résistances R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12 et R13.

Si le circuit intégré IC2 court-circuite à masse les résistances R6 et R7, seules les diodes LED DL1 et DL2, ainsi que les diodes LED DL3 et DL4 s'allument.

Si le circuit intégré IC2 court-circuite à masse les résistances R12 et R13, seules les diodes LED DL13 et DL14, ainsi que la diode LED DL15 s'allument.

Lorsque le condensateur C1 se sera totalement déchargé, la NAND IC1/A n'enverra plus le signal carré qu'il générait sur la broche 1 du circuit intégré IC2, et par conséquent, la combinaison des diodes LED alors allumée le restera.

L'interrupteur S1, relié à la broche 2 de IC2, nous permet de sélectionner un des deux jeux. Quand S1 envoie la tension de 6 volts sur la broche 2, seul le jeu de dés est activé, alors que quand S1 soustrait cette tension positive, c'est au tour du jeu des jumeaux d'être activé.

Dans ce circuit se trouvent trois autres portes NAND IC1/B, IC1/C et IC1/D dont nous ne vous avons pas encore expliqué la fonction.

On utilise la NAND IC1/B pour exciter la petite capsule piézo-électrique CP1 nécessaire pour pouvoir obtenir un son.

Les NAND IC1/C et IC1/D reliées à la broche 11 du circuit intégré IC2 empêchent que les diodes LED ne s'allument de façon aléatoire avant que l'on ait appuyé sur le bouton P1.

Ajoutons, pour finir, que les quatre portes NAND IC1/A, IC1/B, IC1/C et

IC1/D se trouvent à l'intérieur d'un petit circuit intégré, le CD4093 (voir figure 411).

Les chiffres reportés en correspondance des quatre côtés du circuit intégré IC2 indiquent la position des broches sur son corps (voir figure 411).

Ces chiffres n'ont aucune utilité pour qui réalise notre montage, car les pistes en cuivre présentes sur le circuit imprimé LX.5009, servent à relier chaque broche sans erreur possible.

Le circuit doit être alimenté avec une tension stabilisée de 6 volts que vous pouvez prélever de l'alimentation LX.5004 que nous vous avons proposée dans la leçon numéro 7 (voir la revue ELM numéro 7).

En alimentant le circuit avec une tension supérieure, de 7 volts par exemple, on court le risque de "griller" le circuit intégré IC2.

La diode DS3 reliée en série au fil positif d'alimentation sert à éviter le passage de vie à trépas des deux circuits intégrés dans le cas où la tension positive serait, par inadvertance, reliée au fil négatif.

Réalisation pratique du jeu électronique

Si vous commandez le kit LX.5009, vous recevrez tous les composants nécessaires pour réaliser ce montage, y compris le circuit imprimé déjà gravé et percé, ainsi que le boîtier plastique muni d'une face avant également gravée et percée.

Une fois que vous aurez le circuit imprimé, vous pouvez commencer à insérer les deux supports des circuits intégrés IC1 et IC2, aux emplacements indiqués sur la figure 407. Après avoir placé le corps de ces supports sur le circuit imprimé, vous devez en souder toutes les broches sur les pistes en cuivre correspondantes.

Si vous avez encore quelques difficultés pour souder, reportez-vous à la leçon numéro 5.

Poursuivez le montage en insérant toutes les résistances aux emplacements indiqués R1, R2, R3, etc. (voir figure 407), en vérifiant leur valeur à l'aide du code des couleurs (voir leçon numéro 2).

Comme nous vous l'avons déjà expliqué dans les précédentes leçons, vous devez tout d'abord plaquer le corps des résistances sur le circuit imprimé, puis souder leurs deux pattes en coupant l'excès de fil à l'aide d'une petite paire de pinces coupantes.

Après les résistances, vous pouvez insérer les diodes au silicium DS1 et DS2 en plaçant le côté entouré d'une bague de leur corps de verre comme indiqué sur le dessin de la figure 407. Si vous orientez cette bague dans le sens contraire, le circuit ne fonctionnera pas.

La diode au silicium DS3, dont le corps est en plastique, doit être placée à

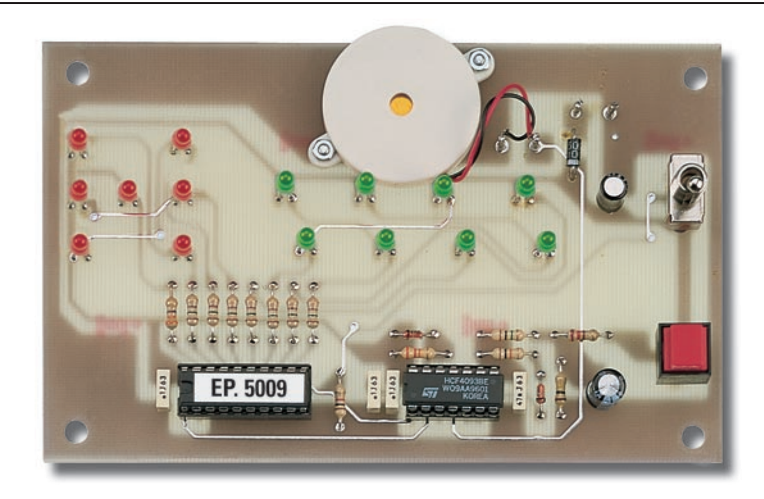


Figure 408 : Photo du montage vu du côté des composants.

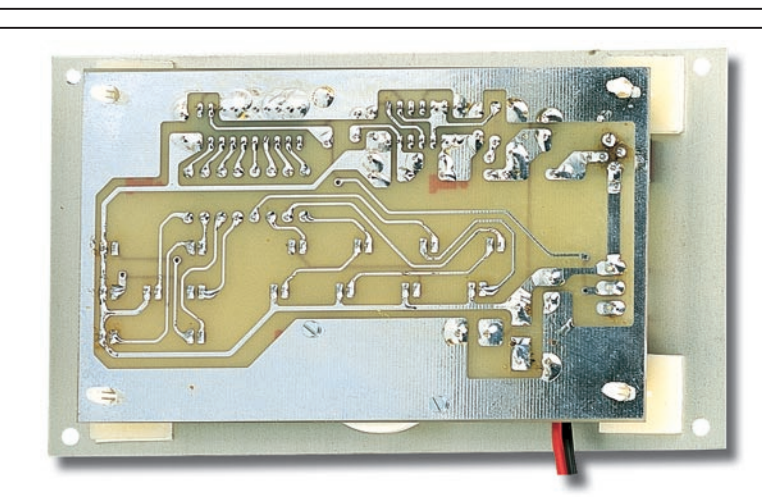


Figure 409 : Le même circuit, observé du côté des soudures.

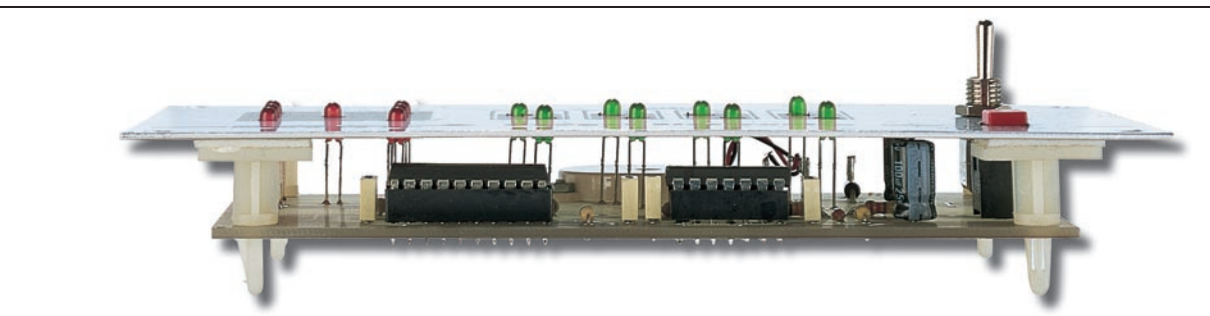


Figure 410 : Une fois les diodes LED montées sur le circuit imprimé, en ayant bien veillé à insérer la patte la plus courte (voir figure 411) dans les trous indiqués par la lettre K (voir figure 407), montez les entretoises autocollantes, placez la face avant, puis retournez le tout et après avoir fait sortir toutes les têtes des diodes LED, soudez soigneusement leurs pattes.

proximité du condensateur électrolytique C5, en orientant vers le bas la bague présente sur son corps.

Vous pouvez à présent monter tous les condensateurs polyester et les deux électrolytiques, C1 et C5, en insérant leur broche positive dans le trou du circuit imprimé indiqué par le symbole “+”.

Si la polarité n’est pas indiquée sur le corps de ces condensateurs électrolytiques, contrôlez la longueur des deux broches : la plus longue est toujours la broche positive.

Après ces composants, vous pouvez insérer le bouton poussoir P1, puis l’interrupteur S1 et fixer le vibreur piézoélectrique CP1 sur la partie haute du circuit imprimé en soudant le fil noir dans le trou de la masse et le fil rouge dans le trou au-dessus de la diode LED DL7.

Montez ensuite toutes les diodes LED sur le circuit imprimé, en insérant la patte la plus courte, la cathode, dans le trou indiqué par la lettre K. Veillez bien au sens des LED sinon elles ne s’allumeront pas.

Vous devez insérer les diodes LED de couleur verte dans les trous des cases des jumeaux, et celles de couleur rouge dans les trous des dés.

Important

Avant de souder les pattes des diodes LED sur les pistes en cuivre, nous vous conseillons de monter, dans les quatre trous latéraux du circuit imprimé, les entretoises plastiques (voir figure 410). Une fois cette opération effectuée, placez la face avant sur la partie autocollante des entretoises, puis retournez le tout de manière à faire sortir les têtes de toutes les diodes LED par les trous de la face avant. Vous pouvez alors souder leurs pattes sur le circuit imprimé, en coupant la partie en excédant à l’aide des pinces coupantes.

Cette opération est un peu complexe et demande de la patience mais elle permet que toutes les diodes LED sortent de façon égale sur la face avant, ce qui est quand même plus esthétique que d’avoir des diodes qui sortent plus ou moins. Bien sûr, même si les diodes ne sont pas parfaitement alignées, le circuit fonctionnera, mais il est préférable, pour le “coup d’œil”, que vous travailliez dans les règles de l’art pour obtenir un résultat le plus présentable possible.

Une fois le montage terminé, vous devrez insérer les deux circuits intégrés dans leurs supports respectifs, en faisant très attention au côté de leur corps sur lequel se trouve l’encoche-détrompeur en U. Comme il apparaît très clairement sur la figure 407, cette encoche en forme de U doit obligatoirement être tournée vers la gauche.

Si les broches des circuits intégrés sont trop écartées pour les faire entrer dans leurs emplacements, vous pouvez les rapprocher en les écrasant légèrement contre une surface rigide.

Le corps de ces circuits intégrés doit être appuyé avec force dans les supports de façon à ce que toutes les broches s’enfoncent à leur place. Nous vous conseillons de vérifier attentivement qu’il en soit ainsi, car il arrive souvent qu’une broche sorte du support, au lieu de prendre sa place.

Si vous voulez vérifier que le circuit fonctionne bien avant de le mettre en place dans son boîtier, il vous suffit de relier les deux fils d’alimentation rouge et noir à une alimentation, telle que la LX.5004 par exemple, réglée pour fournir une tension de 6 volts en sortie.

Au début, toutes les diodes LED seront éteintes, mais dès que vous appuyez sur le poussoir P1, vous verrez toutes les diodes LED clignoter rapidement pour ensuite ralentir jusqu’à ce que les diodes du score final restent allumées.

Une fois vérifié que le circuit fonctionne correctement, vous pouvez le placer à l’intérieur de son boîtier plastique.

Pour faire sortir les deux fils d’alimentation rouge et noir, vous devez faire un trou sur l’arrière du boîtier plastique.

Figure 411 : Connexions des deux circuits intégrés EP5009 et 4093, vues du dessus, ainsi que celles des broches A et K des diodes LED.

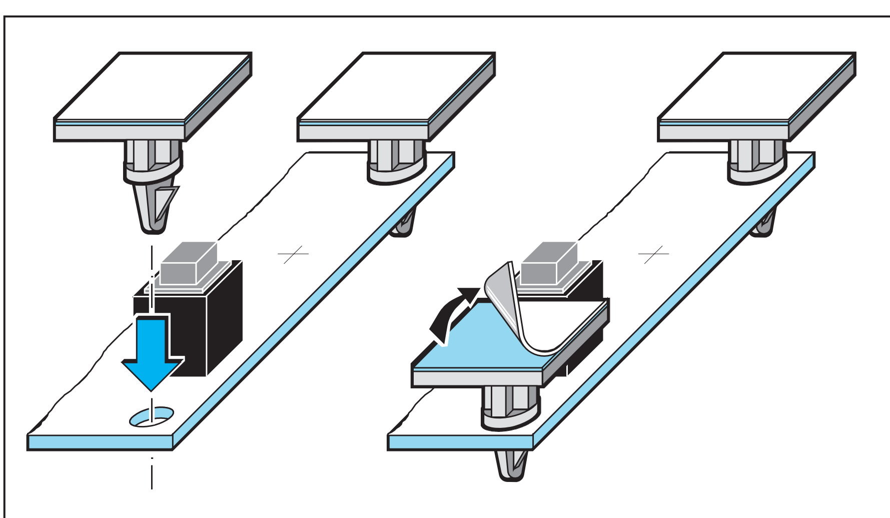


Figure 412 : Pour fixer la face avant sur le circuit imprimé, vous devrez tout d’abord insérer les entretoises plastiques dans les trous du circuit imprimé prévus à cet effet, puis retirer le papier protecteur qui couvre la surface autocollante.

Coût de la réalisation

Tous les composants tels qu’ils apparaissent sur la figure 407 pour réaliser le jeu électronique y compris le circuit imprimé et le boîtier percés et sérigraphiés : env. 220 F.

Tous les composants pour réaliser l’alimentation (telle que la LX.5004 décrite dans le numéro 7 d’E.L.M.) y compris le circuit imprimé et le boîtier percés et sérigraphiés : env. 430 F.


G. M.

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

A partir de cette leçon, nous commencerons à vous présenter les semi-conducteurs les plus répandus et les plus utilisés en électronique. Ainsi, les sujets que nous traiterons deviendront de plus en plus intéressants, d'autant que les explications seront très simples et compréhensibles.

Le transistor est un composant que vous trouverez dans presque tous les appareils électroniques. Il est utilisé pour amplifier n'importe quel type de signal, "BF" ou "HF", ce qui signifie, comme vous le savez déjà, signal "basse fréquence" et "haute fréquence".

Apprendre comment polariser un transistor pour le faire fonctionner correctement, pouvoir reconnaître, sur un schéma électrique, les trois pattes Emetteur, Base et Collecteur, mais également savoir distinguer un transistor PNP d'un NPN, est indispensable si l'on veut pouvoir monter n'importe quel appareil électronique.

Les formules, peu nombreuses mais toutefois nécessaires, que nous vous indiquons pour pouvoir calculer toutes les valeurs des résistances de polarisation, contrairement à celles que vous pourriez trouver dans beaucoup d'autres textes, sont extrêmement simples. Ne vous inquiétez donc pas si vous obtenez, en les utilisant, des valeurs légèrement différentes, car, en lisant cette leçon, vous comprendrez, en effet, que ce que l'on affirme en théorie ne peut pas toujours être appliqué en pratique.

Il est donc préférable d'utiliser des formules simples, d'autant plus que si, en calculant une valeur de résistance avec des formules compliquées, on finit par obtenir trois nombres différents, par exemple 79 355, 81 130 ou 83 248 ohms, lorsqu'on voudra mettre en pratique, on sera toujours obligés d'utiliser la valeur standard de 82 000 ohms !

CONNAITRE LES TRANSISTORS

On appelle "transistor" un semi-conducteur utilisé en électronique pour amplifier n'importe quel type de signal électrique, c'est-à-dire de la basse à la haute fréquence.

Un débutant aura beau lire un nombre incalculable de manuels, il aura beaucoup de mal à comprendre le véritable fonctionnement d'un transistor car ce composant est toujours décrit de façon trop théorique et à l'aide de formules mathématiques trop complexes.

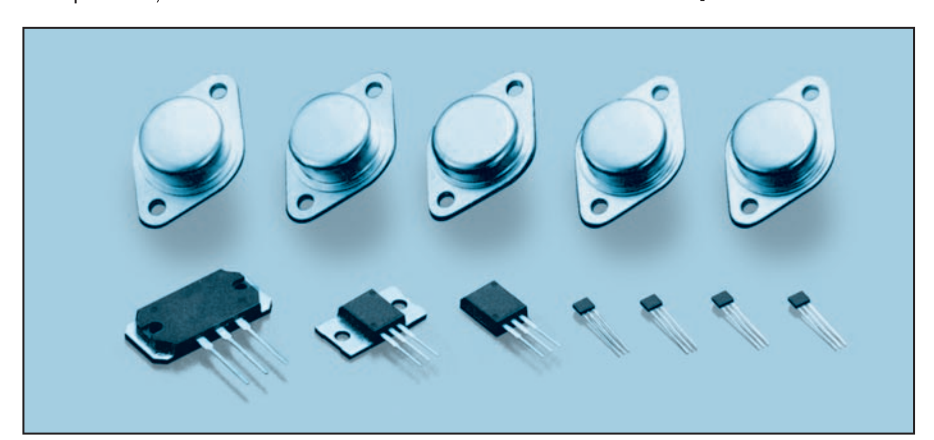
Dans cette leçon, nous essayerons de vous expliquer de manière totalement différente, et à travers beaucoup d'exemples élémentaires, ce qu'est un transistor et comment il fonctionne.

Le transistor

La forme et les dimensions de ce composant sont variables (voir figure 413).

Sur tous les schémas électriques, le transistor est représenté avec le symbole graphique que vous pouvez voir sur les figures 414 et 415, c'est-à-dire avec un cercle duquel sortent 3 pattes indiquées E, B et C.

La lettre E indique l'Emetteur
La lettre B indique la Base
La lettre C indique le Collecteur



Mais, très souvent, les lettres ne sont pas reportées à côté du symbole graphique car les trois pattes sont facilement identifiables.

En effet :

- La patte "Emetteur" est reconnaissable à la flèche qu'elle a toujours sur sa barre, tournée vers l'intérieur ou bien vers l'extérieur.

- La patte "Collecteur" se reconnaît car sa barre légèrement inclinée n'a pas de flèche.

- La patte "Base" se reconnaît grâce à sa barre en forme de gros I.

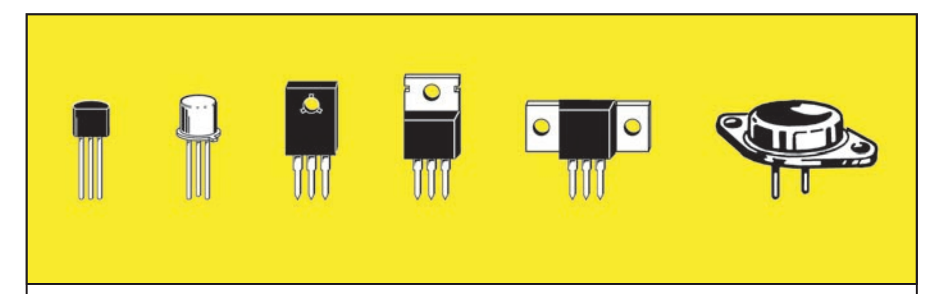


Figure 413 : Les transistors peuvent avoir des formes et des dimensions différentes. Les plus petits sont utilisés dans les préamplificateurs et les plus grands dans les amplificateurs de puissance.

Ce même symbole graphique s'utilise aussi bien pour les transistors de petites dimensions que pour les transistors plus grands (voir figure 413). On ne peut donc connaître les dimensions réelles du transistor qu'en regardant le plan d'implantation ou la photo du montage.

Lorsqu'on regarde le symbole graphique du transistor, il faut faire très attention à observer la direction de la flèche de l'Emetteur.

Si la flèche est dirigée vers la Base, le transistor est alors de type PNP (voir figure 414).

Si la flèche est dirigée vers l'extérieur, le transistor est alors de type NPN (voir figure 415).

La seule différence existant entre un PNP et un NPN, c'est la polarité d'alimentation à appliquer sur la patte "Collecteur".

Pour les transistors PNP, le Collecteur est toujours relié à la tension d'alimentation négative (voir figure 414).

Pour les transistors NPN, le Collecteur est toujours relié à la tension d'alimentation positive (voir figure 415).

Pour vous rappeler quelle polarité doit être appliquée sur le Collecteur du transistor, vous pouvez prendre comme référence la lettre centrale des sigles PNP et NPN.

Lorsqu'il s'agit de transistors PNP, puisque la lettre centrale est un N (négatif), vous devez relier le Collecteur au négatif d'alimentation.

Lorsqu'il s'agit de transistors NPN, puisque la lettre centrale est un P (positif), vous devez relier le Collecteur au positif d'alimentation.

Les pattes E, B et C

Identifier les trois pattes sortant du corps d'un transistor peut parfois se révéler problématique, même pour un technicien expérimenté.

En effet, un fabricant peut les placer dans l'ordre E, B, C, un autre dans l'ordre E, C, B, tandis qu'un troisième les placera dans l'ordre C, B, E (voir figure 416).

Un schéma électrique sérieux devrait toujours indiquer le support des transistors utilisés, normalement vu du dessous, c'est-à-dire du côté où les pattes sortent de leurs corps (voir figure 417).

Pour éviter de lire la disposition des pattes en sens inverse, on trouve toujours une référence sur le corps de ces composants.

Les petits transistors plastiques se repèrent facilement grâce à leur corps en demi-lune (voir figure 417), tandis que les petits transistors métalliques se distinguent par un ergot placé à côté de la patte E.

La référence des transistors plastiques de puissance moyenne est une surface métallique placée d'un seul côté du corps (voir figure 418).

Sur les transistors métalliques de puissance (voir figure 419), les deux pattes E et B sont toujours disposées plus

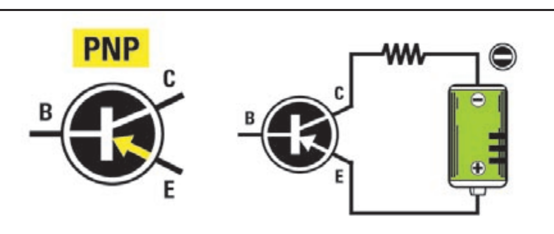


Figure 414 : Les transistors PNP se reconnaissent grâce à leur "flèche" placée sur l'Emetteur et toujours dirigée vers la Base. Dans ces transistors, le Collecteur est relié au négatif de l'alimentation.

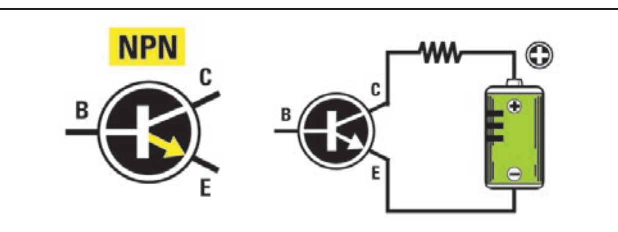


Figure 415 : Les transistors NPN se reconnaissent grâce à leur "flèche" placée sur l'Emetteur et toujours dirigée vers l'extérieur. Dans ces transistors, le Collecteur est relié au positif de l'alimentation.

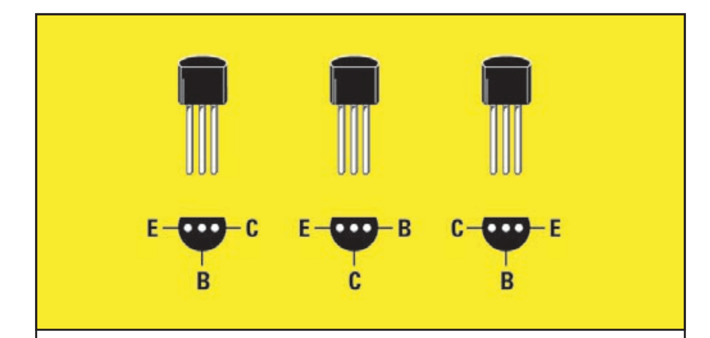


Figure 416 : Les trois pattes sortant du corps du transistor peuvent être disposées dans l'ordre E.B.C, E.C.B ou encore C.B.E.

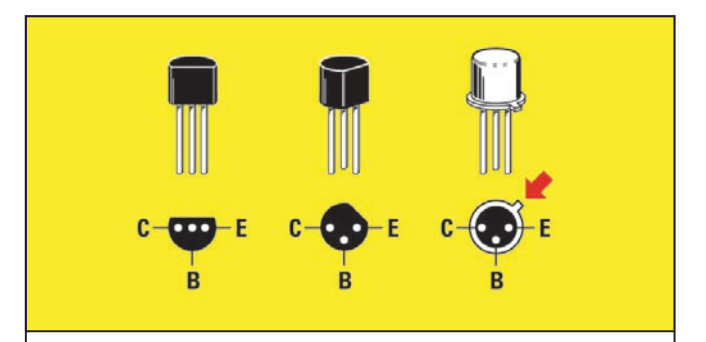


Figure 417 : Pour différencier les pattes E, B et C, on prend comme référence la forme en demi-lune du corps ou bien l'ergot métallique.

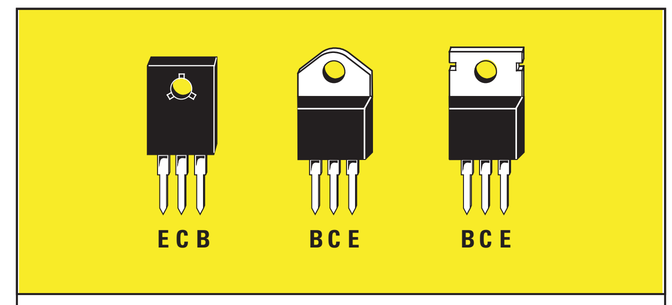


Figure 418 : Dans les transistors de moyenne puissance, on prend comme référence la partie métallique toujours placée derrière leur corps.

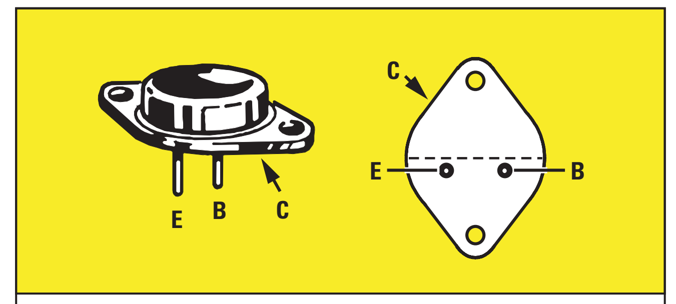


Figure 419 : Dans les transistors de puissance, les pattes E et B se trouvent sous la ligne centrale fictive et le collecteur est relié au corps en métal.

vers le bas par rapport à la ligne centrale du corps, la patte E sur la gauche et la patte B, sur la droite. La patte C est toujours reliée au corps métallique du transistor.

Pour amplifier un signal

Le signal à amplifier arrive presque toujours sur la patte "Base" des transistors. Afin de mieux vous faire comprendre comment cette patte parvient à contrôler le mouvement des électrons, c'est-à-dire à augmenter ou à réduire le débit, nous allons comparer un transistor à un robinet d'eau (voir figure 420).

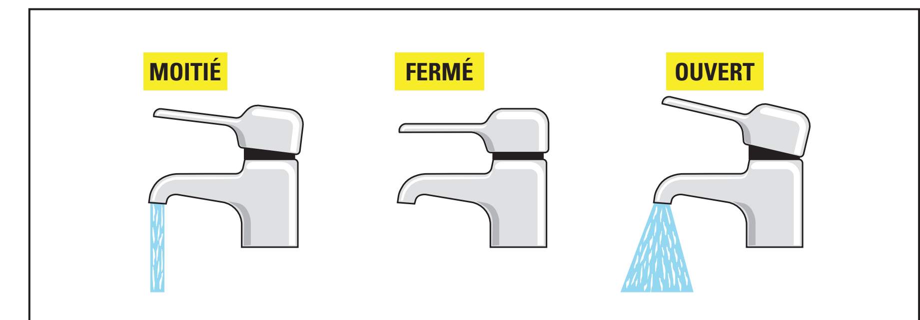


Figure 420 : Comme on le sait déjà, pour faire sortir plus ou moins d'eau d'un robinet, il suffit de déplacer vers le haut ou vers le bas le levier qui se trouve sur son corps.

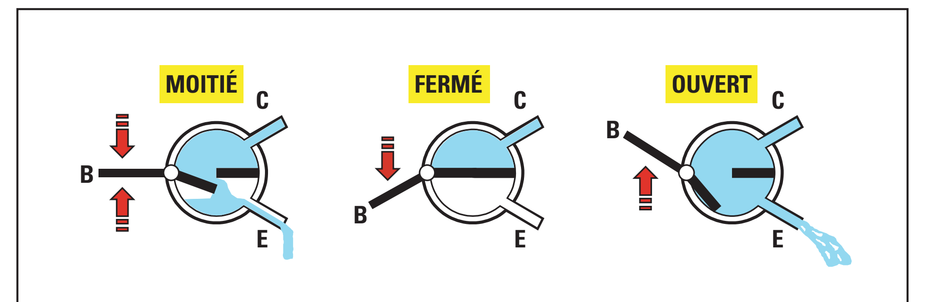


Figure 421 : Dans un transistor, pour augmenter ou réduire le flux des électrons, il faut déplacer le levier de la Base vers le haut ou vers le bas, en utilisant une tension.

Le levier qui commande l'ouverture et la fermeture du flux de l'eau peut être comparé à la patte "Base" du transistor.

Si l'on positionne le levier du robinet à mi-course, le flux d'eau qui s'en échappera sera d'une intensité moyenne.

Si l'on positionne le levier vers le bas, le flux de l'eau cessera, alors que si on le positionne vers le haut, le flux de l'eau augmentera. Si vous pensez à un transistor comme celui de la figure 421, c'est-à-dire composé d'un "tuyau" d'entrée appelé "Collecteur", d'un "tuyau" de sortie appelé "Emetteur" et d'un robinet central appelé "Base", vous pourrez tout de suite imaginer le fonctionnement de tous les transistors.

Si le levier du robinet est maintenu à mi-course, les électrons pourront passer à l'intérieur avec une intensité moyenne.

Si le levier est déplacé vers le bas de façon à fermer le robinet, les électrons ne pourront plus passer.

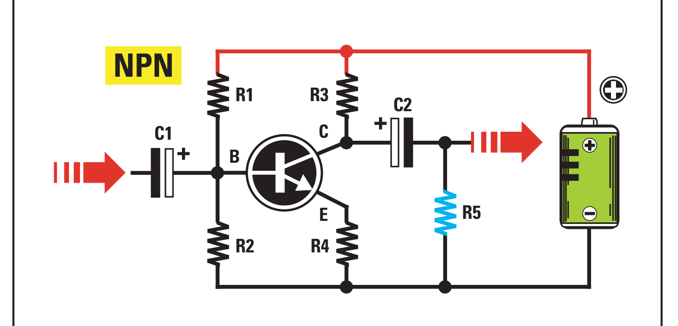


Figure 422 : Pour faire varier le flux des électrons dans un transistor, quatre résistances seulement suffisent. Deux seront reliées à la Base (voir R1 et R2), une au Collecteur (voir R3) et la dernière à l'Emetteur (voir R4).

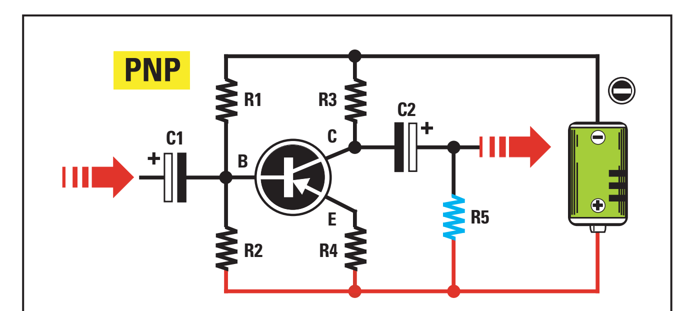


Figure 423 : Si le transistor est un PNP et non pas un NPN (voir figure 422), on devra tout simplement inverser la polarité de l'alimentation. La résistance R5 reliée au condensateur électrolytique C2 est ce que l'on appelle la résistance "de charge".

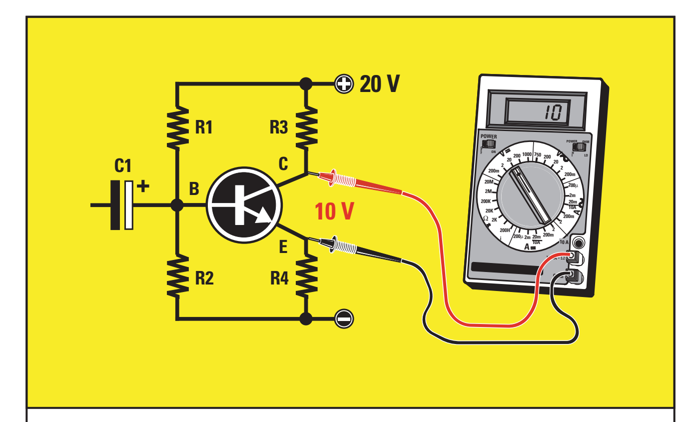


Figure 424 : Entre le Collecteur et l'Emetteur d'un transistor, on devrait toujours trouver une tension égale à la moitié de la Vcc.

Figure 425 : Avec une Vcc de 20 volts (voir figure 424), on devrait toujours lire 10 volts entre les pattes C et E, tandis qu'avec une Vcc de 12 volts, on devrait lire seulement 6 volts.

Si le levier est déplacé vers le haut de façon à ouvrir le robinet, les électrons pourront passer avec une intensité maximale.

Pour amplifier un signal, ce robinet ne doit être maintenu ni complètement fermé, ni complètement ouvert, mais il doit être positionné de façon à laisser passer la moitié des électrons qui le parcourraient, si on le laissait complètement ouvert.

Si de cette position, on déplace le levier vers le haut, le flux des électrons augmentera, tandis que si on le déplace vers le bas, le flux des électrons diminuera.

Vous vous demanderez sans doute à présent comment on fait pour régler un transistor pour qu'il laisse passer la moitié des électrons, comment on le ferme ou encore comment on l'ouvre complètement.

En regardant le schéma électrique d'un étage amplificateur qui utilise un transistor NPN (voir figure 422), on peut remarquer que :

- le Collecteur est relié au positif de l'alimentation par l'intermédiaire de la résistance R3.
- la Base est reliée à un pont résistif, R1 et R2, relié entre le positif et le négatif de l'alimentation.
- l'Emetteur est relié à la masse par l'intermédiaire de la résistance R4.

Note :
il est évident que si ce transistor avait été un PNP, on aurait dû relier la polarité négative de l'alimentation au Collecteur, au lieu de la polarité positive (voir figure 423).

La valeur de ces quatre résistances est calculée, pendant la conception du montage, de façon à lire entre le Collecteur et l'Emetteur une valeur de tension qui soit très proche de la moitié de la valeur de l'alimentation.

Donc, si on alimente le transistor avec une tension de 20 volts, ces résistances doivent être calculées de façon à trouver, entre le Collecteur et l'Emetteur, une valeur de tension réduite de moitié, c'est-à-dire de seulement 10 volts (voir figure 424).

Si on alimente le même transistor avec une tension de 12 volts, ces résistances doivent être calculées de façon à trouver, entre le Collecteur et

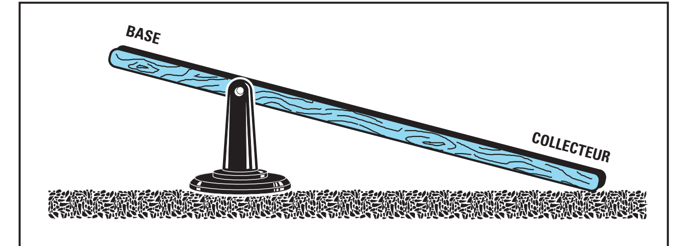


Figure 426 : Pour comprendre la raison pour laquelle on doit trouver la moitié de la tension d'alimentation sur le Collecteur, on peut comparer le transistor à un levier mécanique dont le côté le plus court serait la Base et le plus long, le Collecteur.

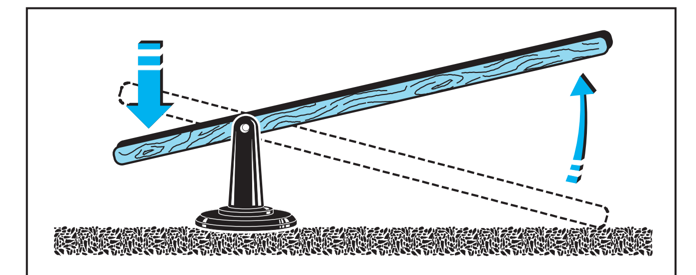


Figure 427 : Si l'on pousse vers le bas le côté de la Base, la partie opposée du Collecteur se lèvera. La différence de déplacement entre la Base et le Collecteur peut être comparée à l'amplification (le gain).

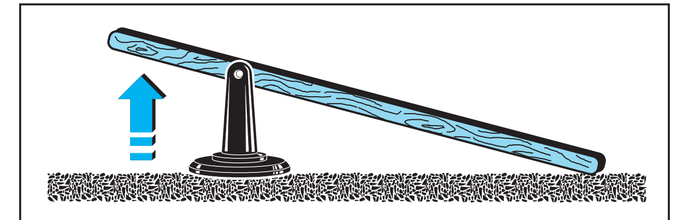


Figure 428 : Si l'on pousse le côté de la Base vers le haut, la partie opposée ne pourra pas descendre car elle appuie sur le sol. Pour pouvoir la bouger, vers le haut ou vers le bas, le levier devrait se trouver à mi-hauteur.

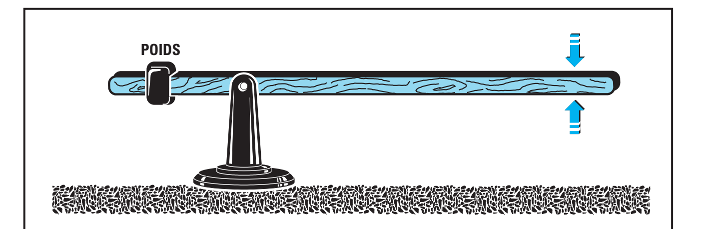


Figure 429 : Pour mettre le levier en position horizontale, il faut appliquer sur la Base un poids capable de soulever le Collecteur à mi-hauteur. Dans le cas du transistor, ce "poids" s'obtient en faisant varier la valeur de R1 et de R2.

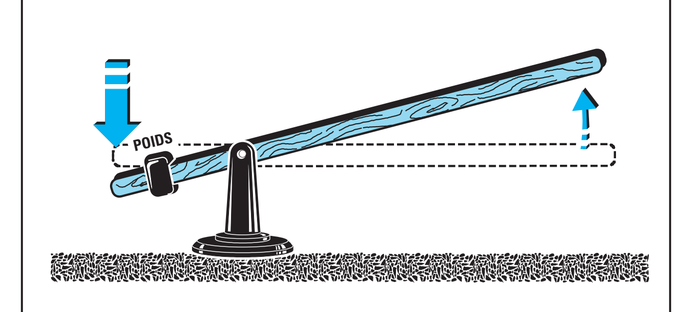


Figure 430 : Une fois le Collecteur placé en position horizontale, si l'on pousse vers le bas le côté de la Base, la partie opposée et correspondant au Collecteur se lèvera jusqu'à atteindre la hauteur maximale.

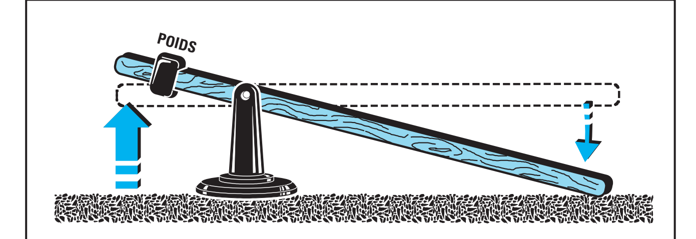


Figure 431 : Si l'on pousse vers le haut le côté de la Base, la partie opposée du Collecteur se baissera jusqu'à toucher le sol et ne pourra plus descendre plus loin.

l'Emetteur, une tension de 6 volts (voir figure 425).

Nous aurons diminué le flux des électrons lorsque la moitié seulement de la tension d'alimentation se trouvera sur le Collecteur, et c'est uniquement à cette condition que l'on pourra amplifier les signaux appliqués sur la Base sans aucune distorsion.

Pour vous expliquer pourquoi seule la moitié de la tension de l'alimentation doit se trouver entre le Collecteur et l'Emetteur, représentons-nous, à l'aide de quelques dessins, le fonctionnement d'un levier mécanique ordinaire, avec son point d'appui situé à l'écart du centre (voir figure 426).

Pour notre exemple, le côté le plus court représentera la Base et le côté le plus long, le Collecteur.

Etant donné que le Collecteur est plus long que la Base, son poids le fera pencher sur le sol.

Si on essaye, à présent, de faire bouger la partie la plus courte vers le bas, la partie opposée se lèvera (voir figure 427).

A l'inverse, si on essaye de faire bouger la partie la plus courte vers le haut, la partie la plus longue ne pourra pas descendre car elle repose déjà sur le sol (voir figure 428).

Pour que le Collecteur puisse se mouvoir librement, soit vers le haut, soit vers le bas, on doit nécessairement placer ce levier en position horizontale.

Pour le mettre en position horizontale, il suffit d'appliquer sur le côté le plus court (côté de la Base), un poids capable de soulever le côté le plus long jusqu'à mi-hauteur (voir figure 429).

Une fois cet équilibre obtenu, lorsqu'une tension arrive sur la Base pour la pousser vers le bas (voir figure 430), l'extrémité opposée se lève.

Lorsqu'une tension arrive sur la Base pour la pousser vers le haut (voir figure 431), l'extrémité opposée descend.

Comme un petit déplacement sur le côté court de la Base correspond à un grand déplacement du côté opposé plus long, c'est-à-dire du côté du Collecteur, on obtiendra un mouvement considérablement amplifié.

Pour amplifier n'importe quel signal, la première chose à faire est d'appliquer, sur le côté court du levier, un poids apte à soulever le côté le plus long en position parfaitement horizontale.

Pour un transistor, on obtient ce poids en appliquant sur la Base une tension capable de faire descendre la tension

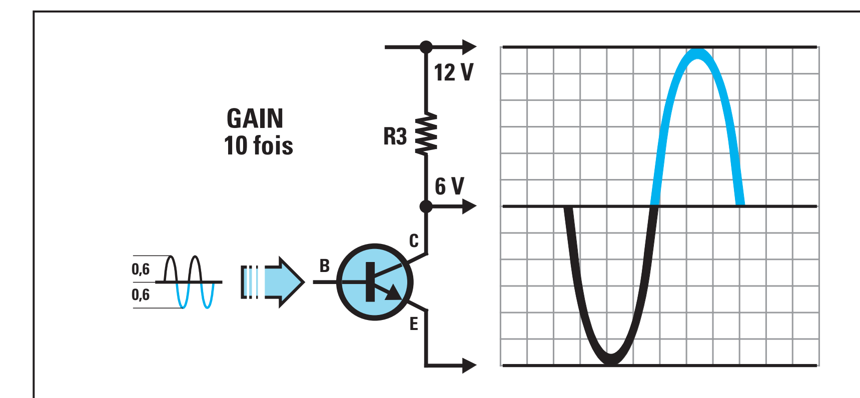


Figure 432 : Si une tension égale à la moitié de la tension Vcc se trouve sur le Collecteur du transistor, on pourra amplifier de 10 fois une sinusoïde composée d'une demi-onde positive et d'une demi-onde négative de 0,6 volt, car le signal amplifié restera dans les 12 petits carrés.

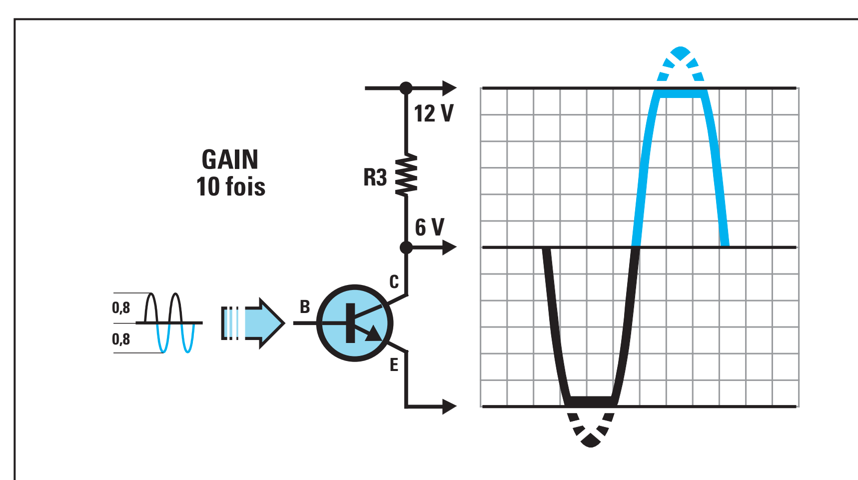


Figure 433 : Si on amplifie 10 fois une sinusoïde composée d'une demi-onde positive et d'une négative de 0,8 volt, le signal amplifié, dépassant aux deux extrémités les 12 petits carrés, sera "coupé" et le signal amplifié sera distordu.

présente sur le Collecteur à une valeur égale à la moitié de celle de l'alimentation.

Pour comprendre pourquoi la tension sur le Collecteur doit être égale à la moitié de celle de l'alimentation, prenez une feuille de papier à petits carreaux et tracez-y une première ligne en bas correspondant à l'Emetteur, et une seconde ligne en haut, correspondant à la tension de l'alimentation.

Si la tension de l'alimentation est de 12 volts, laissez douze carreaux entre les deux lignes de façon à attribuer à chaque carreau une valeur de 1 volt (voir figure 432).

En admettant que le transistor soit correctement polarisé, c'est-à-dire polarisé de façon à trouver une tension de 6 volts sur son Collecteur, tracez une troisième ligne sur le 6ème carreau.

Si le transistor amplifie 10 fois le signal, en appliquant sur la Base un signal sinusoïdal de 1,2 volt crête à crête, c'est-à-dire composé d'une demi-onde positive atteignant un maximum de 0,6 volt et d'une demi-onde négative atteignant un minimum de 0,6 volt, on retrouvera sur le Collecteur la même sinusoïdale 10 fois amplifiée (voir figure 432), mais dont la polarité sera inversée.

En effet, on retrouve la demi-onde positive de 0,6 volt appliquée sur la Base et qui fera descendre la tension sur le Collecteur de :

0,6 x 10 = 6 volts

alors que l'on retrouve la demi-onde négative de 0,6 volt appliquée sur la Base et qui fera monter la tension sur le Collecteur de :

0,6 x 10 = 6 volts

Cette inversion de polarité par rapport au signal appliqué sur la Base s'obtient car, comme nous vous l'avons déjà démontré avec l'exemple du levier mécanique (voir les figures 430 et 431), si l'on pousse vers le bas le côté de la Base, le côté du Collecteur se lève, et si l'on pousse vers le haut le côté de la Base, le côté du Collecteur se baisse.

Etant donné que sur le Collecteur la tension devient 6 fois plus positive et 6 fois plus négative, par rapport aux 6 volts présents sur cette patte, la demi-onde qui descend prendra une valeur de :

6 – 6 = 0 volt

et la demi-onde qui monte, une valeur de :

6 + 6 = 12 volts

Comme vous pouvez le voir sur la figure 432, notre sinusoïde amplifiée reste à l'intérieur du tracé.

Si l'on applique sur la Base, un signal sinusoïdal atteignant un maximum de 0,8 volt positif et de 0,8 volt négatif (voir figure 433), en amplifiant 10 fois ce signal, on devrait théoriquement prélever sur le Collecteur un signal de :

0,8 volt x 10 = 8 volts négatifs

0,8 volt x 10 = 8 volts positifs

En réalité, étant donné que la tension présente sur le Collecteur est de 6 volts, l'onde amplifiée sera coupée sur les deux extrémités (voir figure 433), parce que les deux demi-ondes, la négative ainsi que la positive, dépasseront les deux lignes du tracé.

Donc, si on alimente un transistor avec une tension de 12 volts et que l'on amplifie 10 fois un signal, on ne pourra pas appliquer un signal supérieur à 1,2 volt crête à crête sur la Base.

Note :
un signal de 1,2 volt crête à crête est composé d'une demi-onde négative de 0,6 volt et d'une demi-onde positive de 0,6 volt.

Si on alimente le transistor avec une tension de 20 volts et on amplifie 10 fois le signal, on pourra appliquer un signal de 2 volts crête à crête sur la Base.

En fait, il faut toujours se rappeler qu'un signal amplifié peut monter jusqu'au maximum de la valeur de la tension de l'alimentation et descendre jusqu'à un minimum de 0 volt.

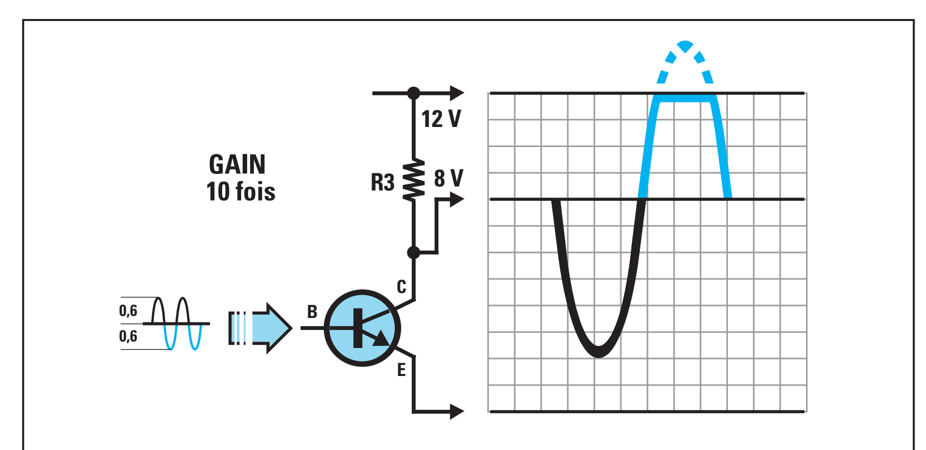


Figure 434 : Si la tension présente sur le Collecteur du transistor était non pas de 6 mais de 8 volts, en amplifiant 10 fois une sinusoïde de 0,6 + 0,6 volt, seule serait "coupée" la demi-onde supérieure qui dépasse les 12 volts d'alimentation.

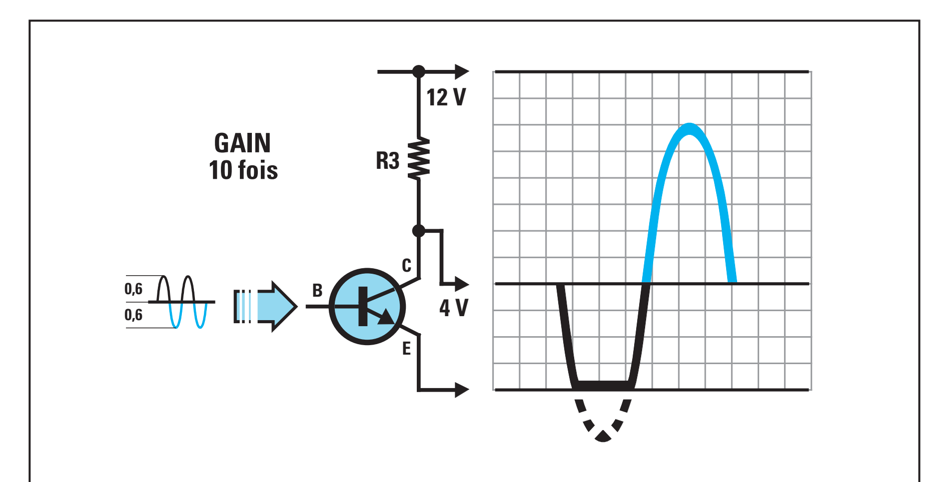


Figure 435 : Si la tension présente sur le Collecteur du transistor était non pas de 6 mais de 8 volts, en amplifiant 10 fois une sinusoïde de 0,6 + 0,6 volt, la demi-onde inférieure serait "coupée" et ne pourrait jamais descendre en dessous de 0 volt.

Donc, avec une tension d'alimentation de 12 volts, on pourra amplifier un signal d'une amplitude de 1,2 volt crête à crête jusqu'à :

12 : 1,2 = 10 fois maximum

Avec une tension d'alimentation de 20 volts, on pourra amplifier un signal d'une amplitude de 1,2 volt crête à crête jusqu'à :

20 : 1,2 = 16,6 fois maximum

Rappelons que le signal sera "coupé" même quand la tension présente entre le Collecteur et l'Emetteur ne sera pas exactement égale à la moitié de celle de l'alimentation.

Supposons que la tension présente entre les deux pattes, le Collecteur et l'Emetteur, soit de 8 volts plutôt que de 6 volts (voir figure 434).

Si on applique sur la Base un signal sinusoïdal de 1,2 volt crête à crête et qu'on l'amplifie 10 fois, on devrait théoriquement prélever sur le Collecteur, deux demi-ondes dont les valeurs seraient de :

0,6 x 10 = 6 volts positifs

0,6 x 10 = 6 volts négatifs

Si on additionne les 6 volts positifs aux 8 volts présents sur le Collecteur, on obtient une valeur de :

8 + 6 = 14 volts positifs

Etant donné que la demi-onde positive est supérieure aux 12 volts positifs de l'alimentation, la sinusoïde positive sera "coupée" sur la valeur de 12 volts (voir figure 434).

Si l'on soustrait les 6 volts négatifs aux 8 volts présents sur le Collecteur, on obtient une tension de :

8 – 6 = 2 volts positifs

En admettant qu'une tension de 4 volts se trouve sur le Collecteur, au lieu d'une tension de 6 volts (voir figure 435), comme nous vous l'avons expliqué avec l'exemple du levier, la demi-onde négative ne pourra pas descendre en dessous de 0 volt, son extrémité sera donc "coupée" de 2 volts environ.

En raison des tolérances des résistances, on parvient difficilement à obtenir entre le Collecteur et l'Emetteur une tension exactement égale à la moitié de celle de l'alimentation.

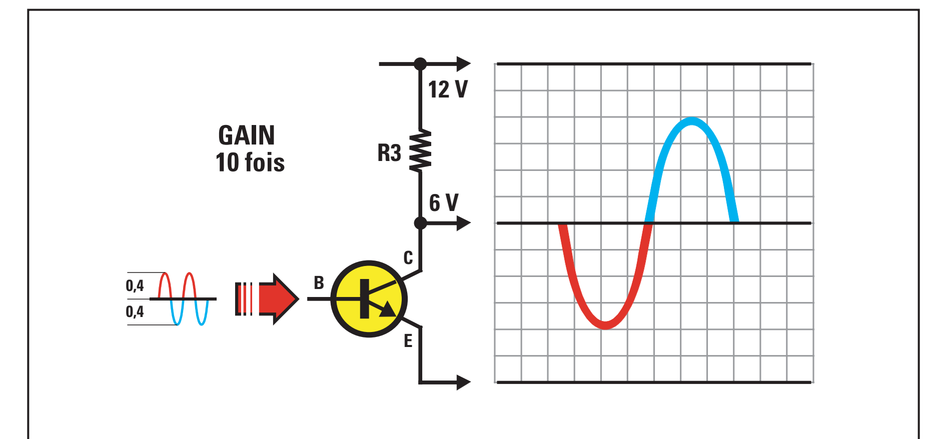


Figure 436 : Pour éviter que l'onde sinusoïdale sorte du Collecteur avec l'une des deux extrémités "coupée", il suffira d'appliquer un signal plus faible sur la Base, de 0,4 +0,4 volt par exemple, comme nous l'avons déjà fait sur la figure 432.

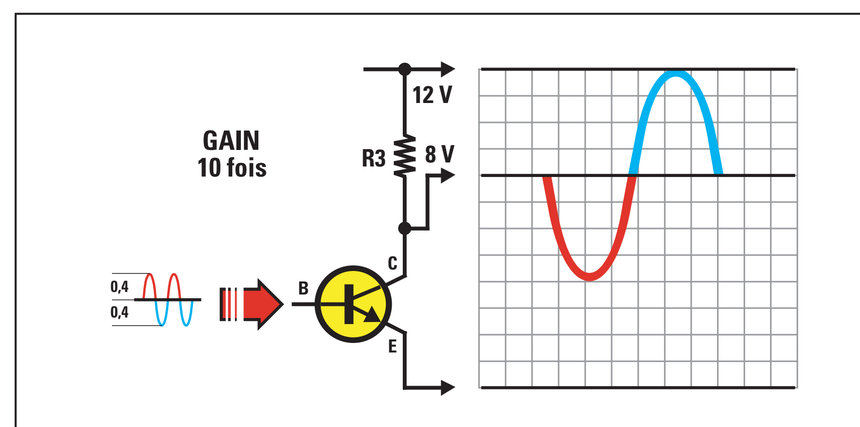


Figure 437 : Si la tension présente sur le Collecteur du transistor était non pas de 6 mais de 8 volts, en amplifiant 10 fois une sinusoïde de 0,4 + 0,4 volt, la demi-onde supérieure ne serait pas "coupée" car elle ne réussirait pas à dépasser les 12 volts d'alimentation.

Pour éviter que les deux extrémités de la sinusoïde soient "coupées" en générant une distorsion, on peut utiliser une de ces solutions :

1 - On applique sur la Base des signaux dont l'amplitude est inférieure par rapport au maximum acceptable. Donc, plutôt que d'appliquer un signal de 1,2 volt crête à crête sur l'entrée, on pourra appliquer des signaux de 0,8 volt crête à crête (voir figure 436).

En amplifiant 10 fois ce signal, on prélèvera deux demi-ondes qui pourront atteindre une amplitude maximale de :

0,4 volt x 10 = 4 volts positifs

0,4 volt x 10 = 4 volts négatifs

Donc, même si la tension sur le Collecteur est de 8 volts, ou bien de 4 volts, notre sinusoïde ne sera jamais "coupée" (voir les figures 437 et 438).

2 - Si le signal à appliquer sur la Base ne peut pas descendre sous la valeur de 1,2 volt crête à crête (nous vous rappelons qu'un signal indiqué "volt crête à crête" est toujours composé par une demi-onde positive et une demi-onde négative égale à la moitié de la tension maximale), il suffit de réduire le gain du transistor de 10 fois à seulement 6.

Avec un gain de 6 fois, on pourra prélever sur le Collecteur du transistor un signal amplifié qui pourra atteindre un maximum de :

0,6 volt x 6 = 3,6 volts négatifs

0,6 volt x 6 = 3,6 volts positifs

Donc, même si la tension sur le Collecteur était de 8 volts, notre sinusoïde ne serait jamais "coupée", car la demi-onde négative descendrait à :

8 – 3,6 = 4,4 volts

et la positive monterait à :

8 + 3,6 = 11,6 volts

et elle resterait donc toujours à l'intérieur du tracé.

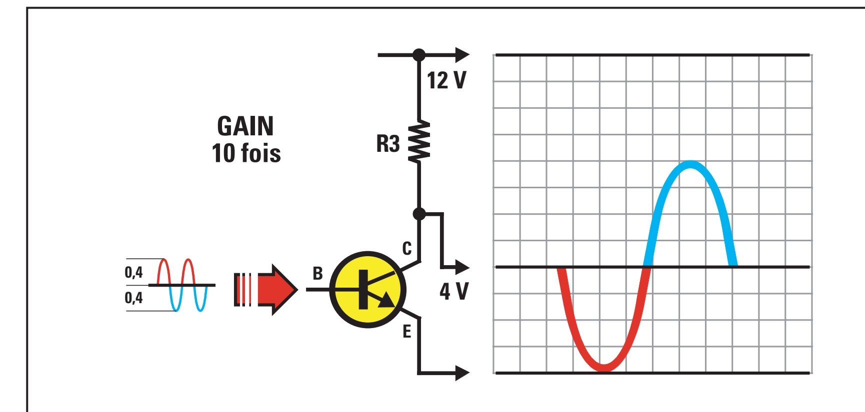


Figure 438 : Si la tension présente sur le Collecteur du transistor était non pas de 6 mais de 4 volts, en amplifiant 10 fois une sinusoïde de 0,4 + 0,4 volt, la demi-onde inférieure ne serait pas "coupée" car elle ne pourrait jamais descendre en dessous de 0 volt.

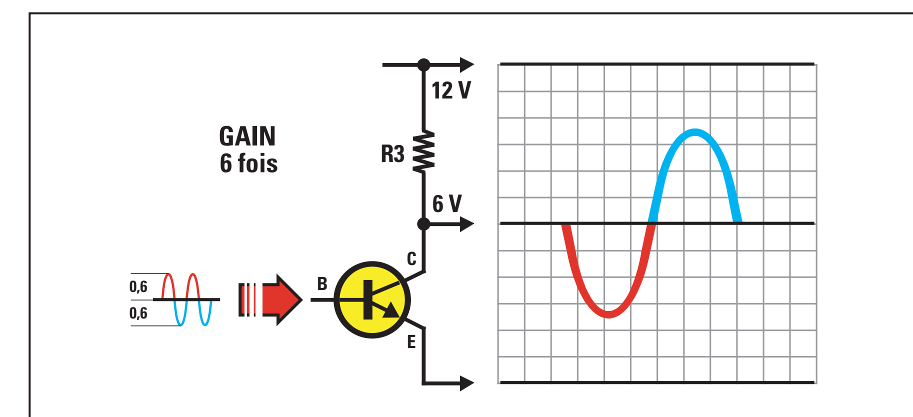


Figure 439 : Si l'amplitude du signal que l'on appliquera sur la Base ne réussit pas descendre en dessous de 0,6 + 0,6 volt, pour ne pas courir le risque de "couper" les extrémités des deux demi-ondes, on devra réduire le gain en le faisant passer de 10 à 6 fois.

Il en va de même si la tension sur le Collecteur était de 4 volts, car la demi-onde négative descendrait à :

4 – 3,6 = 0,4 volt

et la positive monterait à :

4 + 3,6 = 7,6 volts

Dans ce cas également, elle resterait toujours à l'intérieur du tracé.

3 - Comme troisième solution, on peut augmenter la valeur de la tension en la portant de 12 à 15 volts.

Donc, même si on amplifie 10 fois un signal atteignant une amplitude maximale de 1,2 volt pic/pic, on ne dépassera jamais la valeur de la tension de l'alimentation, en effet :

1,2 x 10 = 12 volts

Avec une tension d'alimentation de 15 volts, il n'y aurait pas de problème si on ne trouvait pas sur le Collecteur la moitié de la tension de l'alimentation, c'est-à-dire 7,5 volts, car si 8 ou 6 volts étaient présents, il n'y aurait jamais le risque de "couper" les extrémités des deux demi-ondes.

La tension sur le Collecteur

Pour obtenir sur le Collecteur, une tension qui se rapproche le plus possible de la moitié de celle de l'alimentation, on doit appliquer sur les trois pattes, le Collecteur, la Base et l'Emetteur, des résistances d'une valeur appropriée.

Avant de vous apprendre à calculer la valeur de ces résistances, nous vous rappelons que la moitié de la tension d'alimentation d'un transistor doit toujours être mesurée entre le Collecteur et l'Emetteur (voir les figures 424 et 425), et non pas entre le Collecteur et la masse, comme cela arrive souvent.

Si l'on mesure cette tension entre le Collecteur et la masse, on commettra une énorme erreur car on ne tiendra pas compte de la chute de tension provoquée par la résistance R4, présente entre l'Emetteur et la masse.

Donc, la valeur de l'alimentation d'un transistor est celle qui se trouve entre le Collecteur et l'Emetteur, et par conséquent, c'est sur cette valeur que l'on devra calculer la moitié de la tension.

Supposons que l'on alimente un transistor avec une tension de 12 volts et que la résistance R4 de l'Emetteur provoque une chute de tension de 1,4 volt.

Dans ces conditions, le transistor ne sera pas alimenté par une tension de 12 volts, comme on pourrait, à tort, le croire, mais par une tension de :

12 – 1,4 = 10,6 volts

C'est pourquoi, on ne devra pas trouver sur le Collecteur une valeur de tension de :

12 : 2 = 6 volts

mais une valeur égale à la moitié de celle présente entre l'Emetteur et le Collecteur, c'est-à-dire :

10,6 : 2 = 5,3 volts

Quoi qu'il en soit, ne vous arrêtez pas trop sur cette valeur de moitié de tension, car vous ne réussirez jamais à l'obtenir.

Ainsi, s'il vous arrive, avec n'importe quel montage, de remarquer une différence de quelques volts, en plus ou en moins, ne vous inquiétez pas.

Lors de la conception d'un montage, on tient toujours compte de ces différences de tension qui peuvent être causées par les tolérances des résistances et parfois, par le transistor lui-même.

Il serait également inutile de la corriger car, si vous deviez un jour remplacer ce transistor par un autre venant du même fabricant et portant la même référence, vous vous retrouveriez toujours avec une valeur de tension différente.

◆ **G. M.**

Nous poursuivrons, dans la prochaine leçon, avec les caractéristiques d'un transistor et les formules de calcul pour un étage amplificateur.

LEÇON N°16

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Dans la précédente leçon, nous avons commencé à faire connaissance avec les transistors. Nous poursuivons par les caractéristiques et les formules de calcul pour les étages amplificateurs.

Ces formules, peu nombreuses mais toutefois nécessaires, que nous vous donnons pour pouvoir calculer toutes les valeurs des résistances de polarisation, contrairement à celles que vous pourriez trouver dans beaucoup d'autres textes, sont extrêmement simples.

Les caractéristiques d'un transistor

Même si les caractéristiques d'un transistor sont indiquées dans tous les livres, pour un débutant ces données ne sont pas d'une grande utilité. Prenons comme exemple les caractéristiques d'un hypothétique transistor, et lisons-les :

Vcb	=	45 volts maxi
Vce	=	30 volts maxi
Veb	=	6 volts maxi
Ic	=	100 mA maxi
Ptot	=	300 milliwatts
Hfe	=	100 - 200
Ft	=	50 MHz

Vcb - indique que ce transistor peut accepter une tension maximale de 45 volts entre le Collecteur et la Base.

Vce - indique que la tension maximale que l'on peut lire entre le Collecteur et l'Emetteur ne devra jamais atteindre 30 volts.

Cette donnée nous est très utile pour connaître la valeur de tension maximale pouvant servir à alimenter ce transistor.

Un transistor ayant une Vce de 30 volts peut être utilisé dans tous les circuits alimentés par des tensions de 28, 24, 18, 20, 12, 9 ou 4,5 volts, mais pas dans des circuits alimentés par des tensions de 30 volts ou plus.

Veb - indique la valeur de la tension maximale inverse pouvant être appliquée entre la Base et l'Emetteur.

En admettant que l'Emetteur soit relié à la masse, l'amplitude totale du signal alternatif que l'on peut appliquer sur la Base ne pourra jamais dépasser le double de la tension Veb.

Dans notre exemple, avec une Veb de 6 volts, on pourra appliquer sur la Base une tension alternative qui ne dépassera jamais les :

6 + 6 = 12 volts crête à crête

Note :
la Veb, qui est une tension inverse, ne doit pas être confondue avec la tension directe indiquée par les lettres Vbe, qui reste fixe pour tous les transistors sur une valeur comprise entre 0,6 et 0,7 volt.

Ic - indique le courant maximal que l'on peut faire parcourir pendant de brefs instants sur le Collecteur, et donc, un courant qui ne devra jamais être considéré comme un courant de travail normal.

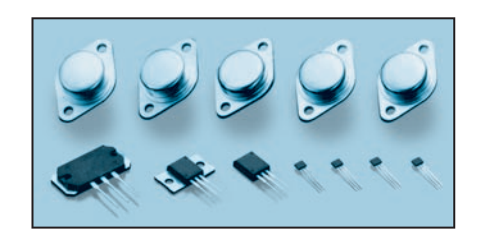
Ptot - indique la puissance maximale que peut dissiper le transistor à une température de 25 degrés.

En pratique, cette puissance se réduit considérablement car, lorsque le transistor travaille, la température de son corps augmente beaucoup, et ce, tout particulièrement lorsqu'il s'agit d'un transistor de puissance.

Hfe - indique le rapport existant entre le courant du Collecteur et celui de la Base.

Etant donné que cette valeur est quasiment identique à Beta (amplification d'un signal dans une configuration à Emetteur commun), elle est également appelée "gain".

La valeur 100-200 reportée dans notre exemple nous indique que, en raison



des tolérances, ce transistor est capable d'amplifier un signal au moins 100 fois mais pas plus de 200 fois. Il n'y a donc pas de quoi s'étonner si sur trois transistors, l'un amplifie 105 fois, un autre 160 fois et le dernier 195 fois.

Ft - signifie "fréquence de coupure" et indique la valeur de la fréquence maximale que le transistor peut amplifier.

Le transistor que nous analysons peut amplifier n'importe quelle fréquence jusqu'à un maximum de 50 mégahertz environ, mais jamais plus.

Sens des sigles

Dans les formules que nous vous indiquons pour calculer la valeur des quatre résistances R1, R2, R3 et R4, vous trouverez des sigles dont voici le sens :

Vcc = valeur de tension de l'alimentation.

Vce = valeur de la tension présente entre le Collecteur et l'Emetteur. Dans la majorité des cas, cette valeur correspond à Vcc : 2.

Vbe = valeur qui, pour tous les transistors, tourne autour de 0,6 à 0,7 volt.

Pour les calculs, on utilise la valeur moyenne, c'est-à-dire 0,65 volt.

Vb = valeur de la tension présente entre la Base et la masse. Cette valeur correspond à la tension présente aux bornes de la résistance R4.

VR4 = valeur de la tension (en volt) présente sur les extrémités de la résistance R4, placée entre l'Emetteur et la masse.

R1 = valeur de la résistance (en ohm) qu'il faut appliquer entre la Base et le positif d'alimentation.

R2 = valeur de la résistance (en ohm) qu'il faut appliquer entre la Base et la masse.

R3 = valeur de la résistance (en ohm) qu'il faut appliquer entre le Collecteur et la tension positive de l'alimentation.

R4 = valeur de la résistance (en ohm) qu'il faut appliquer entre l'Emetteur et la masse.

Ib = valeur du courant (en mA) de la Base.

Ie = valeur du courant (en mA) de l'Emetteur.

Ic = valeur du courant (en mA) du Collecteur.

Hfe = c'est le rapport existant entre le courant du Collecteur et le courant de la Base.

En appliquant un courant déterminé sur la Base, on obtiendra sur le Collecteur un courant supérieur, égal à celui de la Base multiplié par la valeur Hfe.

En pratique, cette augmentation correspond au gain statique de courant du transistor.

Si vous ne réussissez pas à repérer la valeur Hfe dans un manuel, vous pourrez la trouver en réalisant le testeur de transistor que nous vous proposerons dans la prochaine leçon.

Gain = indique le nombre de fois dont le signal appliqué sur la Base est amplifié.

Calcul des résistances d'un étage préamplificateur BF

Pour calculer la valeur des quatre résistances R1, R2, R3 et R4 d'un étage préamplificateur en configuration "émetteur commun" (voir figure 441), on doit nécessairement connaître ces trois paramètres :

- la valeur Vcc de la tension d'alimentation
- la valeur Hfe du transistor
- le Gain, c'est-à-dire le nombre de fois que nous voulons amplifier le signal.

Admettons, par exemple, que nous ayons ces données comme référence :

tension d'alimentation	**=**	**12 volts**
valeur moyenne de la Hfe	**=**	**110**
gain nécessaire	**=**	**10 fois**

si vous cherchez dans n'importe quel texte apprenant à calculer les valeurs des résistances nécessaires à polariser correctement ce transistor, ou d'autres, vous vous retrouverez immédiatement en difficulté car vous n'aurez à disposition que des formules mathématiques complexes et peu d'exemples pratiques.

La méthode que nous vous enseignons, même si elle est élémentaire, vous permettra de trouver toutes les valeurs nécessaires pour les résistances R1, R2, R3 et R4.

Ne faites jamais l'erreur, trop souvent commise, de calculer la valeur des résistances de façon à obtenir un gain maximal du transistor.

Dans la pratique, pour avoir la certitude que le signal amplifié que l'on prélève sur le Collecteur ne soit jamais "coupé" (voir figure 432), il est toujours préférable de travailler avec des gains très bas, par exemple, 5, 10 ou 20 fois. Si l'amplification est insuffisante, il est conseillé d'utiliser un second étage préamplificateur.

Si l'on veut, par exemple, amplifier un signal de 100 fois, il est toujours préférable d'utiliser deux étages (voir figure 440), et de calculer leurs résistances de polarisation de façon à obtenir un gain d'environ 10 fois pour chaque étage.

De cette façon, on obtient un gain total de :

10 x 10 = 100 fois

On pourrait également calculer le premier étage, TR1, pour un gain de 20 fois, et le deuxième étage, TR2, pour un gain de 5 fois, en obtenant ainsi un gain total de :

20 x 5 = 100 fois

Donc, pour obtenir des amplifications importantes, il est toujours préférable d'utiliser plusieurs étages amplificateurs pour éviter tous les risques que l'on pourrait prendre en amplifiant au maximum un seul transistor.

En limitant le gain d'un transistor, on obtient tous ces avantages :

- On évite la distorsion. Si on amplifie un signal de façon exagérée avec un seul transistor, les crêtes des demi-ondes positives ou négatives seront presque toujours "coupées", et donc, notre signal sinusoïdal se transformera en une onde carrée, provoquant ainsi une distorsion considérable.

- On réduit le bruit de fond (parasite). Plus un transistor amplifie, plus le bruit de fond produit par les électrons en mouvement augmente, et écouter de la musique avec ce bruit n'est vraiment pas agréable !

- On évite les auto-oscillations. En faisant amplifier au maximum un transistor, celui-ci peut facilement auto-osciller en générant ainsi des fréquences ultrasoniques, c'est-à-dire non audibles, qui feraient surchauffer le transistor au point de le détruire.

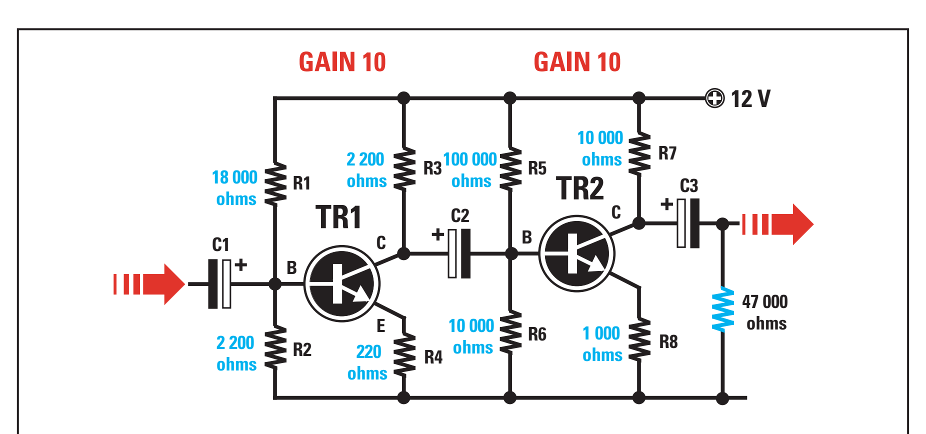


Figure 440 : Pour ne pas "couper" un signal sur les deux extrémités, il est toujours préférable d'utiliser deux étages calculés pour un faible gain. Pour calculer les valeurs des résistances, on part toujours du transistor TR2, puis on passe au TR1.

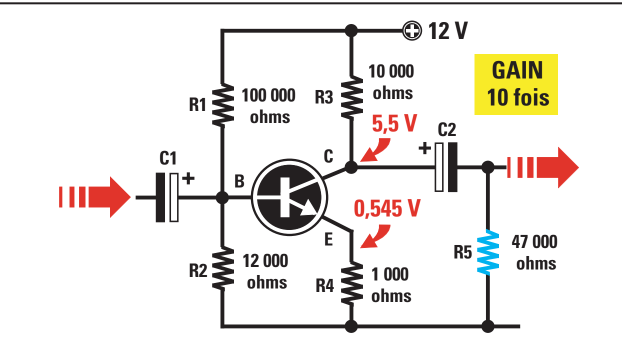


Figure 441 : Étage préamplificateur calculé pour un gain de 10 fois, alimenté avec 12 volts. On ne trouve sur le Collecteur que 5,5 volts au lieu de 6 volts, car 0,545 volt présent aux bornes de la résistance R4 de l'Emetteur est prélevé sur les 12 volts Vcc.

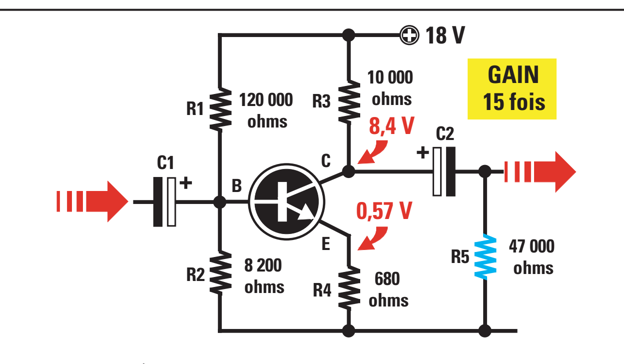


Figure 442 : Étage préamplificateur calculé pour un gain de 15 fois et alimenté avec 12 volts. On ne trouve sur le Collecteur que 8,4 volts au lieu de 9 volts, car 0,57 volt présent aux bornes de la résistance R4 de l'Emetteur est soustrait aux 18 volts Vcc.

- On évite que le corps du transistor ne surchauffe. En pratique, plus la température de son corps augmente, plus le courant du Collecteur augmente et, lorsque ce courant augmente, la température augmente proportionnellement également. Se produit alors une réaction incontrôlée, appelée "l'effet avalanche", qui détruit le transistor. Pour réduire ce risque, on place un radiateur de refroidissement sur le corps des transistors de puissance des étages de puissance, afin de dissiper le plus rapidement possible la chaleur de leur corps.

- On ne réduit pas la bande passante. En fait, plus le gain est important, plus on réduit la bande passante. Cela signifie que, si dans un préamplificateur BF Hi-Fi, on fait amplifier le transistor pas plus de 20 ou 30 fois, on réussit à amplifier toute la gamme des fréquences acoustiques, en partant d'un minimum de 25 hertz environ jusqu'à un maximum de 50 000 hertz.

Au contraire, si on le fait gagner 100 fois ou plus, il ne réussira plus à amplifier au maximum toutes les fréquences des notes aiguës supérieures à 10 000 hertz.

Après cette introduction, nous pouvons poursuivre en vous expliquant quelles sont les opérations à effectuer pour trouver la valeur des résistances R1, R2, R3 et R4, pour un étage préamplificateur BF, utilisant un seul transistor (voir figure 441).

Calculer la valeur de R3

Pour trouver la valeur à donner à la résistance R3 devant être reliée au Collecteur, on doit tout d'abord connaître la valeur ohmique de la résistance de charge sur laquelle sera appliqué le signal amplifié.

Dans l'exemple représenté sur la figure 441, la charge est constituée par la valeur de la résistance R5 reliée, après le condensateur électrolytique C2, entre le Collecteur et la masse. En pratique, la valeur ohmique de la résistance R3 doit toujours être inférieure à la valeur de la résistance R5. A ce propos, certains documents conseillent de choisir une valeur plus petite de 6, 7, ou 8 fois, mais dans la pratique, on peut utiliser une valeur inférieure de 5 fois ou même moins.

En admettant que la valeur de la résistance R5 soit de 47 000 ohms, pour trouver la valeur de la résistance R3, on devra effectuer cette simple division :

R3 (ohm) = R5 : 5

47 000 : 5 = 9 400 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on utilise la valeur commerciale la plus proche, qui est, dans le cas présent, de 10 000 ohms (10 kilohms).

Calculer la valeur de R4

Une fois la valeur 10 000 ohms choisie pour la résistance R3, on peut effectuer la seconde opération, qui nous permet de trouver la valeur ohmique de la résistance R4, en utilisant la formule :

R4 = R3 : Gain

Puisque, comme nous l'avons déjà expliqué, il n'est jamais conseillé de choisir des gains supérieurs à 10 ou 20 fois, on choisira donc le minimum, c'est-à-dire 10 fois. Ayant choisi pour R3 une valeur de 10 000 ohms, la résistance R4 doit avoir une valeur ohmique de :

10 000 : 10 = 1 000 ohms

Calculer Ic (courant du Collecteur)

Comme troisième opération, on devra calculer la valeur du courant parcourant le Collecteur, en utilisant la formule :

Ic (mA) = [(Vcc : 2) : (R3 + R4)] x 1 000

Note :
le nombre 1 000, que l'on trouve à la fin de cette formule n'est pas la valeur de R4 mais un multiplicateur qui nous permet d'obtenir une valeur de courant exprimée en milliampères.

En insérant nos données dans la formule, on obtient :

[(12 : 2) : (10 000 + 1 000)] x 1 000 = 0,545 mA

Donc, le courant Ic parcourant le Collecteur est de 0,545 milliampère.

Calculer la valeur de VR4

Nous devons à présent poursuivre nos calculs en calculant la valeur de la tension (en volt) présente aux bornes de la résistance R4, reliée entre l'Emetteur et la masse, en utilisant la formule :

Tension sur R4 (volt) = (Ic x R4) : 1 000

En effectuant notre opération, on obtient :

(0,545 x 1 000) : 1 000 = 0,545 volt

Calculer la valeur de R2

La valeur de la résistance R2 est liée à la valeur de la résistance R4 et à la valeur Hfe moyenne du transistor que l'on veut polariser.




La formule à utiliser pour trouver la valeur de la résistance R2 est la suivante :

R2 = (moyenne Hfe x R4) : 10

En insérant les données que l'on connaît déjà, on obtient :

(110 x 1 000) : 10 = 11 000 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on doit rechercher la valeur la plus proche qui pourrait être dans notre cas, 10 000 ou 12 000 ohms. Pour cet exemple, on choisit la valeur la plus élevée pour la R2, c'est-à-dire 12 000 ohms (12 kilohms).

Calculer la valeur de R1

Une fois trouvée la valeur de R2, on peut trouver la valeur de R1, en utilisant cette formule :

R1 = [(Vcc x R2) : (Vbe + VR4)] – R2

On connaît déjà les données à insérer dans cette formule :

Vcc	=	12 volts
R2	=	12 000 ohms
Vbe	=	0,65 volt
VR4	=	0,545 volt

Note :
puisque la Vbe d'un transistor pourrait être de 0,7 volt, ou bien de 0,6 volt, il est toujours préférable de choisir la valeur moyenne égale à 0,65 volt.

En insérant les données dans la formule, on obtient :

[(12 x 12 000) : (0,65 + 0,545)] – 12 000

Pour commencer, on effectue la multiplication :

12 x 12 000 = 144 000

puis, on additionne la Vbe et la VR4 :

0,65 + 0,545 = 1,195

On continue en divisant le premier résultat par le second :

144 000 : 1,195 = 120 500

On soustrait ensuite la valeur de R2 à ce nombre :

120 000 – 12 000 = 108 000 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on peut utiliser pour R1 la valeur commerciale la plus proche, qui est évidemment 100 000 ohms (100 kilohms).

Souvenez-vous que, lorsqu'on a calculé la valeur de R2, on pouvait choisir entre deux valeurs standard, c'est-à-dire entre 10 000 et 12 000 ohms, et que nous avons alors choisi la seconde.

On peut à présent contrôler, toujours à l'aide de la formule ci-dessus, la valeur que nous aurions dû choisir pour R1 si l'on avait choisi une valeur de 10 000 ohms pour R2.

R1 = [(12 x 10 000) : (0,65 + 0,545)] – 10 000

[(120 000) : (1,195)] – 10 000 = 90 418 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on doit nécessairement choisir la valeur commerciale la plus proche, qui pourrait être 82 000 ohms (82 kilohms) ou bien 100 000 ohms (100 kilohms).

Calculer le gain

Etant donné que pour tous ces calculs, nous avons arrondi différentes valeurs de résistances, nous voudrions connaître le nombre de fois que le transistor a amplifié le signal appliqué sur la Base.

Pour connaître le gain, on peut utiliser cette simple formule :

Gain = R3 : R4

Etant donné que nous avons choisi une valeur de 10 000 ohms pour la résistance R3 du Collecteur, et une valeur de 1 000 ohms pour la résistance R4 de l'Emetteur, le transistor amplifiera de :

10 000 : 1 000 = 10 fois

Si au lieu d'utiliser une valeur de 1 000 pour la résistance R4, on avait utilisé une valeur de 820 ohms, le transistor aurait amplifié le signal de :

10 000 : 820 = 12,19 fois

Si au contraire on avait utilisé une valeur de 1 200 ohms, le transistor aurait amplifié de :

10 000 : 1 200 = 8,33 fois

Avec cet exemple, nous vous avons montré que pour augmenter ou réduire le gain d'un étage amplificateur, il suffit de varier la valeur de la résistance R4.

Note :
la formule R3 : R4 est valable seulement si aucun condensateur électrolytique n'est relié en parallèle à la R4, comme sur la figure 447.

Signal maximum sur la Base

Connaissant le gain et la valeur de la tension de l'alimentation Vcc, on peut calculer le signal maximum à appliquer sur la Base pour pouvoir prélever un signal non distordu au Collecteur, en utilisant la formule :

Base (volt) = (Vcc x 0,8) : gain

Avec un gain de 10 fois, on pourra appliquer sur la Base un signal dont l'amplitude ne devra jamais dépasser la valeur de :

(12 x 0,8) : 10 = 0,96 volt crête à crête

Avec un gain de 12,19 fois, on pourra appliquer sur la Base un signal dont l'amplitude ne devra jamais dépasser la valeur de :

(12 x 0,8) : 12,19 = 0,78 volt crête à crête

Note :
le facteur de multiplication 0,8 s'utilise pour éviter de "couper" le signal sur les deux extrémités dans le cas où la tension présente sur le Collecteur serait légèrement supérieure ou inférieure par rapport à la tension désirée (voir les figures 434 et 435), à cause de la tolérance des résistances.

Calcul pour un gain de 15 fois, en alimentant le transistor avec 18 volts

Dans l'exemple précédent, nous nous sommes basés sur une valeur de tension de l'alimentation Vcc de 12 volts. A présent, nous voudrions savoir quelles valeurs utiliser pour les résistances R1, R2, R3 et R4, si le même transistor était alimenté à l'aide d'une tension de 18 volts (voir figure 442), et si l'on voulait amplifier 15 fois un signal.

Calculer la valeur de R3

En admettant que la résistance de charge R5 soit toujours égale à 47 000 ohms, on pourra alors choisir pour la

résistance R3, une de ces trois valeurs: 8 200, 10 000 ou 12 000 ohms.

Calculer la valeur de R4

Une fois la valeur de 10 000 ohms choisie pour la résistance R3, on peut effectuer la seconde opération pour trouver la valeur ohmique de la résistance R4, en utilisant la formule que l'on connaît déjà, c'est-à-dire:

R4 = R3 : gain

Pour obtenir un gain de 15 fois la résistance, R4 doit avoir une valeur de:

10 000 : 15 = 666 ohms

Sachant que cette valeur n'est pas standard, on utilise la valeur la plus proche, c'est-à-dire 680 ohms.

Calculer Ic (courant du Collecteur)

La troisième opération consiste à calculer la valeur du courant qui parcourt le Collecteur, en utilisant la formule:

Ic (en mA) =
[(Vcc : 2) : (R3 + R4)] x 1 000

On peut ensuite effectuer notre opération pour trouver la valeur Ic:

[(18 : 2) : (10 000 + 680)] x 1 000
= 0,8426 mA

Donc, le Collecteur de ce transistor sera parcouru par un courant de 0,8426 milliampère.

Calculer la valeur de VR4

On peut maintenant calculer la valeur de la tension que l'on retrouvera aux bornes de la résistance R4 reliée entre l'Emetteur et la masse, c'est-à-dire la valeur VR4, en utilisant la formule:

VR4 = (Ic x R4) : 1 000

En effectuant notre opération, on obtient:

(0,8426 x 680) : 1 000
= 0,5729 volt

Calculer la valeur de R2

La valeur de la résistance R2 est liée à la valeur de la résistance R4 et à la valeur Hfe moyenne du transistor que l'on veut polariser correctement.

R2 = (moyenne Hfe x R4) : 10

En insérant les données que l'on connaît déjà, on obtient:

(110 x 680) : 10 = 7 480 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on doit rechercher la valeur la plus proche pour R2, qui pourrait être dans notre cas, 6 800 ou 8 200 ohms (6,8 ou 8,2 kilohms).

Calculer la valeur de R1

En admettant que l'on choisisse une valeur de 8 200 ohms pour R2, on peut trouver la valeur de R1, en utilisant la formule que l'on connaît déjà, c'est-à-dire:

R1 = [(Vcc x R2) : (Vbe + VR4)] – R2

On connaît déjà les données à insérer dans cette formule:

Vcc	=	18 volts
R2	=	8 200 ohms
Vbe	=	0,65 volt
VR4	=	0,5729 volt

on obtient donc:

[(18 x 8 200) : (0,65 + 0,5729)]
– 8 200

Pour commencer, on effectue la multiplication:

18 x 8 200 = 147 600

puis, on additionne la Vbe et la VR4:

0,65 + 0,5729 = 1,2229

On continue en divisant le premier résultat par le second:

147 600 : 1,2229 = 120 696

On soustrait ensuite la valeur de R2 à ce nombre:

120 696 - 8 200 = 112 496 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on peut utiliser pour R1 la valeur commerciale la plus proche, qui est évidemment 120 000 ohms (120 kilohms).

Calculer le gain

Comme nous avons arrondi les valeurs de différentes résistances, nous voudrions savoir si cet étage amplifiera 15 fois le signal appliqué sur la Base, et pour cela, on peut utiliser cette simple formule:

Gain = R3 : R4

Etant donné que la valeur de la résistance R3 appliquée sur le Collecteur est de 10 000 ohms et la valeur de la résistance R4 appliquée sur l'Emetteur est de 680 ohms, cet étage amplifiera un signal de:

10 000 : 680 = 14,7 fois

c'est-à-dire une valeur très proche de 15 fois.

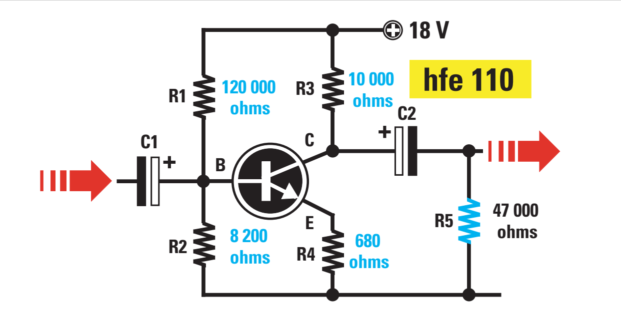


Figure 443: Les valeurs reportées sur ce schéma se réfèrent à un étage préamplificateur calculé pour un gain de 15 fois, alimenté sous 18 volts, en utilisant un transistor ayant une Hfe moyenne de 110.

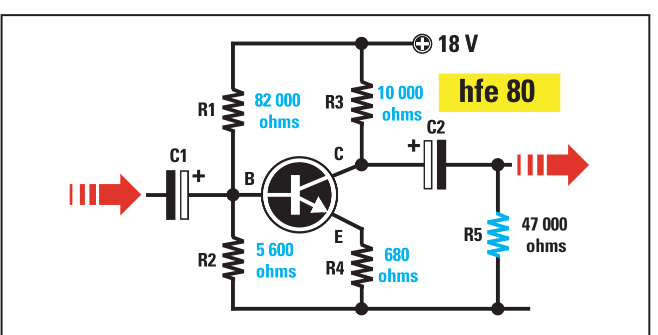


Figure 444: Si on insérait un transistor d'une valeur Hfe de 80 dans l'étage de la figure 443, on devrait, théoriquement, modifier les valeurs de R1 et R2. Comme nous l'avons expliqué à travers la leçon, pour R1 et R2, on choisit toujours une valeur moyenne.

Ce gain de 14,7 fois est toutefois seulement théorique, car il ne tient pas compte de la tolérance des résistances.

En admettant que la Résistance R3 ait une valeur réelle de 10 450 ohms et la résistance R4, une valeur réelle de 675 ohms, on obtiendra un gain de :

10 450 : 675 = 15,48 fois

Si au contraire, la résistance R3 avait une valeur de 9 600 ohms et la R4, une valeur de réelle de 689 ohms, on obtiendrait une valeur de :

9 600 : 689 = 13,93 fois

En raison des tolérances des résistances, on doit toujours considérer que le gain calculé peut varier de ± 5 %.

Un signal maximal sur la Base

Connaissant le gain et la valeur de la tension de l'alimentation Vcc, on peut calculer le signal maximum à appliquer sur la Base pour pouvoir prélever un signal dépourvu de distorsion du Collecteur, en utilisant la formule :

Base (volt) = (Vcc x 0,8) : gain

Avec un gain de 15 fois et une tension d'alimentation de 18 volts, on pourra appliquer sur la Base des signaux dont l'amplitude ne devra jamais dépasser la valeur de :

(18 x 0,8) : 15
= 0,96 volt crête à crête

Et si le transistor avait une Hfe différente ?

Dans l'exemple de la figure 442, on a calculé les valeurs des résistances R1, R2, R3 et R4, en prenant comme exemple une Hfe moyenne de 110, mais en admettant que l'on remplace ce transistor par un autre de même référence, mais ayant une Hfe de 80, seules les valeurs des résistances R1 et R2 pourraient changer dans le circuit.

R2 = (moyenne Hfe x R4) : 10

R1 = [(Vcc x R2) : (Vbe + VR4)] – R2

Si l'on introduit dans ces formules les valeurs que l'on connaît déjà, on obtient ces données :

(80 x 680) : 10
= 5 440 ohms pour la R2

comme cette valeur n'est pas standard, on utilise la valeur commerciale la plus proche, c'est-à-dire 5 600 ohms (5,6 kilohms).

R1 = [(18 x 5 600) : (0,65 + 0,5729)]
– 5 600

En effectuant tout d'abord toutes les opérations qui se trouvent entre parenthèses, on obtient :

(100 800) : (1,2229) – 5 600
= 76 827 ohms

Pour la résistance R1, on devrait donc utiliser une valeur de 76 827 ohms, mais étant donné que ce n'est pas une valeur standard, on devra choisir la valeur commerciale la plus proche, c'est-à-dire 82 000 ohms (82 kilohms).

A présent, si l'on fait une comparaison entre un transistor ayant une Hfe de 110 et un autre, ayant une Hfe de 80 (voir les figures 443 et 444), on remarquera ces différences :

	Hfe de 110	Hfe de 80	Valeur moyenne
R1	120 000 ohms	82 000 ohms	100 0000 ohms
R2	8 200 ohms	5 600 ohms	6 800 ohms

Comme vous pouvez le constater, si le transistor a une Hfe inférieure, il faut seulement baisser la valeur des deux résistances R1 et R2.

Comme il est pratiquement impossible de changer les valeurs des résistances R1 et R2 d'un circuit chaque fois qu'on remplace un transistor, puisqu'on ignore si celui que l'on remplace a une Hfe de 60, 80, 100, 110 ou 120, pas plus qu'il n'est possible de contrôler une infinité de transistors pour pouvoir en trouver un de la Hfe voulue, on fait donc une moyenne entre la valeur qu'il faudrait pour une Hfe faible et pour une Hfe élevée.

Dans notre exemple, pour la résistance R1, on pourrait choisir une valeur moyenne de :

(120 000 + 82 000) : 2
= 101 000 ohms

et puisque cette valeur n'est pas standard, on utilisera une valeur de 100 000 ohms (100 kilohms).

Pour la résistance R2, on pourra choisir une valeur moyenne égale à :

(8 200 + 5 600) : 2 = 6 900 ohms

et puisque cette valeur n'est pas standard, on utilisera une valeur de 6 800 ohms (6,8 kilohms).

Grâce à cet exemple, vous aurez déjà compris la raison pour laquelle, sur beaucoup de schémas identiques utilisant le même transistor, on peut trouver des valeurs de résistances considérablement différentes.

L'habileté d'un concepteur de montages ne réside pas dans le fait de prendre un seul transistor et de le polariser de la meilleure façon, mais dans le calcul des valeurs des résistances de façon à ce que, sans apporter aucune modification au circuit, on puisse insérer un transistor avec une Hfe quelconque.

Calcul pour amplifier des signaux d'amplitude très élevée (figure 445)

Dans les exemples précédents, nous avons considéré des gains de 10 ou 15 fois pour préamplifier des signaux très faibles, mais, en admettant que le signal à appliquer sur la Base ait une amplitude de 2 volts crête à crête, on devra amplifier beaucoup moins pour éviter de "couper" les deux demi-ondes. Si on utilise une tension d'alimentation de 12 volts, on peut calculer le gain maximal pouvant être atteint en utilisant la formule :

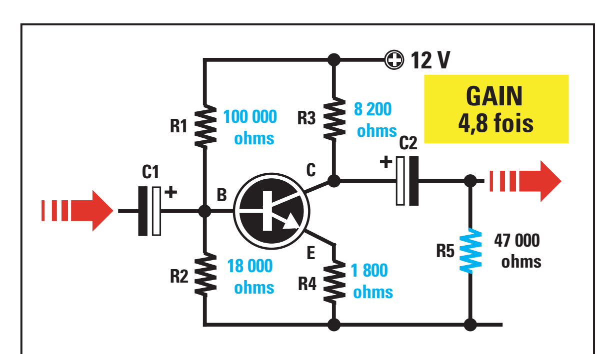


Figure 445 : Si vous devez amplifier des signaux d'amplitudes très élevées, pour éviter de "couper" les extrémités des deux demi-ondes comme sur la figure 433, vous devrez recalculer toutes les valeurs des résistances R1, R2, R3 et R4, de façon à réduire le gain. Avec la valeur reportée sur ce schéma et avec une tension Vcc de 12 volts, on obtient un gain d'environ 4,8 fois.

Gain maximum
= (Vcc x 0,8) : signal (en volt)

on ne pourra donc pas amplifier plus de :

(12 x 0,8) : 2 = 4,8 gain maximum

En partant des données suivantes :

tension d'alimentation	**=**	**12 volts**
valeur moyenne de la Hfe	**=**	**110**
gain à obtenir	**=**	**4,8**

on devra refaire tous nos calculs pour connaître les valeurs à utiliser pour R1, R2, R3 et R4.

Calculer la valeur de R3

En admettant que l'on choisisse une valeur de 8 200 ohms pour R3, on continue alors avec les calculs suivants.

Calculer la valeur de R4

En connaissant la valeur ohmique de R3, on peut effectuer la seconde opération pour trouver la valeur ohmique de la résistance R4, en utilisant la formule :

R4 = R3 : gain

Etant donné qu'il nous faut un gain de 4,8 fois, la résistance R4 devra avoir une valeur de :

8 200 : 4,8
= 1 708 ohms

Cette valeur n'étant pas standard, on utilise la valeur la plus proche, c'est-à-dire 1 800 ohms (1,8 kilohm).

Calculer Ic (courant du Collecteur)

La troisième opération consiste à calculer la valeur du courant qui parcourt le Collecteur, en utilisant la formule :

Ic en mA =
[(Vcc : 2) : (R3 + R4)] x 1 000

On peut ensuite effectuer notre opération pour trouver la valeur Ic :

[(12 : 2) : (8 200 + 1 800)] x 1 000
= 0,6 mA

Donc, le Collecteur de ce transistor sera parcouru par un courant de 0,6 milliampère.

Calculer la valeur de VR4

On peut maintenant calculer la valeur de la tension que l'on retrouvera aux extrémités de la résistance R4 reliée entre l'Emetteur et la masse, c'est-à-dire la valeur VR4, en utilisant la formule :

VR4 = (Ic x R4) : 1 000

En effectuant notre opération, on obtient :

(0,6 x 1 800) : 1 000 = 1,08 volt

Calculer la valeur de R2

Pour calculer la valeur de la résistance R2, on utilise toujours la même formule :

R2 = (moyenne Hfe x R4) : 10

En insérant dans la formule les données que l'on connaît déjà, on obtient :

(110 x 1 800) : 10
= 19 800 ohms pour la R2

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on doit rechercher la valeur la plus proche, qui pourrait être 18 000 ohms (18 kilohms).

Calculer la valeur de R1

En admettant que l'on choisisse une valeur de 18 000 ohms pour R2, on peut trouver la valeur de R1, en utilisant la formule que l'on connaît déjà, c'est-à-dire :

R1 = [(Vcc x R2) : (Vbe + VR4)] – R2

On connaît déjà les données à insérer dans cette formule :

Vcc	**=**	**12 volts**
R2	**=**	**18 000 ohms**
Vbe	**=**	**0,65 volt**
VR4	**=**	**1,08 volt**

on obtient donc :

[(12 x 18 000) : (0,65 + 1,08)]
– 18 000

Pour commencer, on effectue la multiplication :

12 x 18 000 = 216 000

puis, on additionne la Vbe et la VR4 :

0,65 + 1,08 = 1,73

On continue en divisant :

216 000 : 1,73 = 124 855

On soustrait ensuite la valeur de R2 à ce nombre :

124 855 - 18 000 = 106 855 ohms

Comme cette valeur n'est pas standard, on peut utiliser pour R1 la valeur commerciale la plus proche, qui est évidemment 100 000 ohms (100 kilohms).

Calculer le gain

Etant donné que l'on a une R3 de 8 200 ohms sur le Collecteur, et une R4 de 1 800 ohms sur l'Emetteur, cet étage amplifiera un signal de :

8 200 : 1 800 = 4,55 fois

c'est-à-dire une valeur très proche de 4,8 fois.

Ce gain de 4,55 est toutefois théorique car il ne tient pas compte de la tolérance des résistances.

Donc, sachant que cette valeur peut varier de ±5 %, on ne peut pas exclure le fait que cet étage amplifie un signal de 4,32 fois ou bien de 4,78 fois.

Le condensateur sur l'Emetteur

Dans beaucoup de schémas d'étages préamplificateurs, on trouve normalement un condensateur électrolytique relié en parallèle à la résistance R4 de l'Emetteur (voir figure 447), et vous vous demandez, logiquement, à quoi il sert.

Ce condensateur appliqué en parallèle à la R4 sert à augmenter le gain d'environ 10 fois par rapport au gain calculé. Donc, si l'on a un transistor qui amplifie, en temps normal, 4,55 fois un signal, en reliant ce condensateur à l'Emetteur, il sera amplifié d'environ :

4,55 x 10 = 45,5 fois

On utilise ce condensateur seulement lorsqu'il faut amplifier considérablement un signal à l'aide d'un seul transistor.

En appliquant une résistance en série à ce condensateur électrolytique (voir figure 448), on peut réduire le gain maximum de 10 fois sur des valeurs inférieures, par exemple sur des valeurs telles que 7, 6, 5, 4 ou 2 fois.

Plus la valeur ohmique de la résistance placée en série sur ce condensateur est élevée, plus on réduira le gain maximum.

En admettant que l'on ait besoin d'un gain d'exactement 35 fois, la solution la plus simple pour connaître la valeur ohmique à utiliser, c'est de relier en série un trimmer au condensateur électrolytique.

En envoyant un signal sur la Base, on tournera le curseur de ce trimmer jusqu'à ce que l'on obtienne l'exact gain voulu.

On mesurera ensuite la valeur ohmique du trimmer, puis on le remplacera par une résistance de valeur identique.

Résistance du Collecteur R3 (ohms) = R5 : 5
Résistance de l'Emetteur R4 (ohms) = R3 : Gain

Courant du Collecteur IC (mA) = $\dfrac{Vcc : 2}{R3 + R4}$ *x 1 000*

Tension aux bornes de R4 VR4 = (Ic x R4) : 1.000
Résistance de la Base R2 (ohms) = (hfe x R4) : 10

Résistance de la Base R1 (ohms) = $\dfrac{Vcc \times R2}{0{,}65 + VR4}$ *– R2*

Signal maximum en entrée = (Vcc x 0,8) : Gain
Gain maximum = (Vcc x 0,8) : Signal en Volt

Figure 446 : Sur ce tableau, vous trouverez toutes les formules nécessaires pour calculer les valeurs des résistances R1, R2, R3 et R4. Pour le calcul du courant du Collecteur Ic, nous avons volontairement reporté Vcc : 2, au lieu de Vce : 2, car les petites différences que l'on obtiendra ne pourront jamais influencer le résultat final.

En ce qui concerne les étages préamplificateurs dont le condensateur est inséré en parallèle à la résistance R4, toutes les résistances de polarisation, c'est-à-dire R1, R2, R3 et R4, sont calculées pour un gain maximum de 2 ou 3 fois afin d'éviter que le signal amplifié ne sorte distordu.

Le condensateur d'entrée et de sortie

Dans tous les étages amplificateurs, il y a toujours sur l'entrée Base et sur la sortie Collecteur, un condensateur électrolytique.

Ces deux condensateurs sont destinés à ne laisser passer que le signal alternatif vers la Base ou pour le prélever sur le Collecteur de façon à l'appliquer à l'étage suivant sans modifier la valeur de la tension continue qui se trouve sur cette patte car, comme vous le savez certainement, les condensateurs ne laissent pas passer la tension continue mais uniquement la tension alternative.

Sans ce condensateur, si on appliquait sur la Base un microphone d'une résistance de 600 ohms (voir figure 449), cette valeur, placée en parallèle sur la résistance R2, modifierait la valeur de la tension présente sur la Base.

Si l'on appliquait directement un casque ayant une résistance de 32 ohms entre le Collecteur et la masse (voir figure 450), toute la tension positive présente sur le Collecteur serait court-circuitée vers la masse par la faible résistance de ce casque.

Signal maximum sur la Base

Connaissant le gain et la valeur de la tension d'alimentation Vcc, on pourrait connaître le signal maximum pouvant être appliqué sur la Base, de façon à prélever sur son Collecteur un signal dépourvu de distorsion, en utilisant la formule :

Base (en volt)
= (Vcc x 0,8) : gain

Avec un gain de 4,8 fois et une tension d'alimentation de 12 volts (voir figure 445), on pourrait appliquer sur la Base des signaux dont l'amplitude ne devra jamais dépasser une valeur de :

(12 x 0,8) : 4,8
= 2 volts crête à crête

Si le signal à appliquer sur la Base avait une amplitude supérieure de 2 volts, on pourrait résoudre le problème en augmentant la valeur de la résistance R4, en la faisant passer des 1 800 ohms actuels à une valeur supérieure, c'est-à-dire 2 200 ohms.

De cette façon, le gain du transistor descendra sur la valeur de :

8 200 : 2 200 = 3,72 fois

donc, on pourrait appliquer sur la Base un signal qui pourra atteindre aussi une valeur de :

(12 x 0,8) : 3,72
= 2,58 volts crête à crête

Les 3 configurations classiques

On pense généralement que le signal à amplifier doit nécessairement être appliqué sur la Base et prélevé sur le

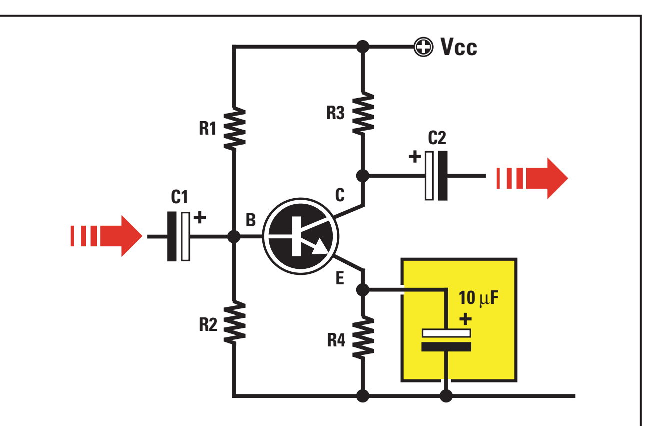


Figure 447 : En reliant en parallèle un condensateur électrolytique de 1 à 22 microfarads à la résistance R4 de l'Emetteur, on pourra augmenter le gain de l'étage préamplificateur d'environ 10 fois par rapport à ce que nous avions calculé.

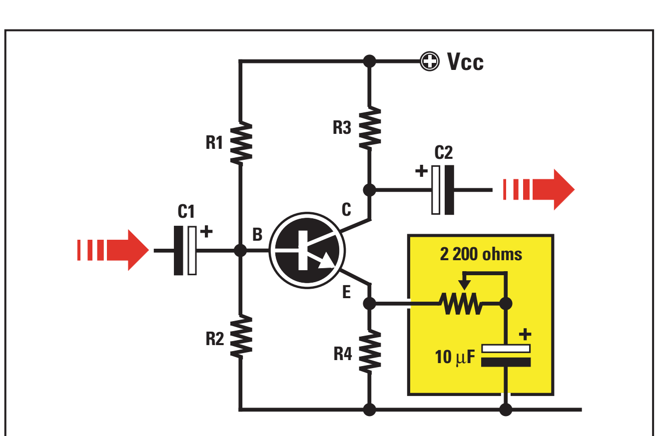


Figure 448 : Pour éviter qu'avec un excès de gain, le signal ne sorte écrêté sur le Collecteur (voir figure 433), il suffit de relier en série, au condensateur électrolytique, un trimmer ou une résistance calculée de façon à réduire le gain de l'étage.

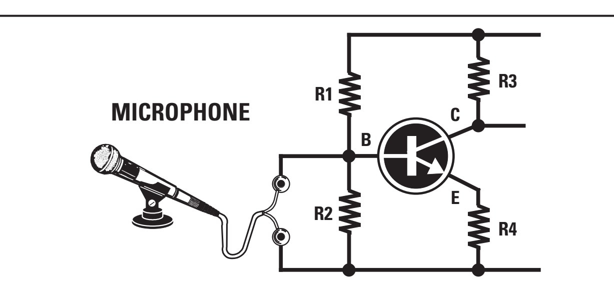


Figure 449 : Si aucun condensateur électrolytique n'est inséré dans la Base du transistor, la tension présente sur cette patte sera court-circuitée à masse par la faible résistance du microphone, empêchant ainsi le fonctionnement du transistor.

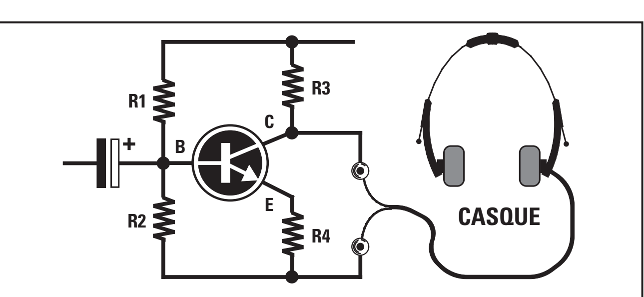


Figure 450 : Si aucun condensateur électrolytique n'est inséré dans le Collecteur du transistor, la tension présente sur cette patte sera court-circuitée à masse par la résistance du casque, coupant ainsi la tension d'alimentation au Collecteur.

Collecteur. Comme vous allez le voir, le signal amplifié peut être appliqué sur l'Emetteur et prélevé sur le Collecteur, ou bien il peut être appliqué sur la Base et prélevé sur l'Emetteur.

Figure 451 : Emetteur commun. Le signal est prélevé sur le Collecteur et appliqué sur la Base.

Figure 452 : Collecteur commun. Le signal est prélevé sur l'Emetteur et appliqué sur la Base.

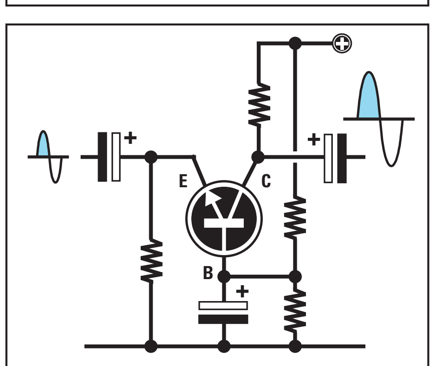


Figure 453 : Base commune. Le signal est prélevé sur le Collecteur et appliqué sur l'Emetteur.

On appelle ces trois différentes façons d'utiliser un transistor comme étage amplificateur :

"Common Emitter" ou "Emetteur commun"

Dans cette configuration, le signal à amplifier est appliqué sur la Base et le signal amplifié est récupéré sur le Collecteur (voir figure 451). Une petite variation de courant sur la Base détermine une importante variation du courant du Collecteur.

Le signal amplifié que l'on prélève sur le Collecteur est "déphasé" de 180 degrés par rapport au signal appliqué sur la Base, c'est-à-dire que la demi-onde positive se transforme en demi-onde négative et que la négative se transforme en positive.

"Common collector" ou "Collecteur commun"

Dans cette configuration (voir figure 452), le signal à amplifier est appliqué sur la Base mais il est récupéré sur l'Emetteur et non pas sur le Collecteur.

Comme cette configuration n'amplifie pas, elle est normalement utilisée comme étage "séparateur", pour convertir un signal à haute impédance en signal à faible impédance.

Le signal que l'on prélève sur l'Emetteur n'est pas "déphasé", c'est-à-dire que la demi-onde positive appliquée sur la Base reste positive sur la sortie de l'Emetteur et la demi-onde négative appliquée sur la Base reste négative sur l'Emetteur.

"Common Base" ou "Base commune" (voir figure 453)

Dans cette configuration, le signal à amplifier est appliqué sur l'Emetteur et le signal amplifié est récupéré sur le Collecteur. Une petite variation de courant sur l'Emetteur détermine une variation moyenne du courant sur le Collecteur.

Le signal amplifié que l'on prélève sur le Collecteur n'est pas "déphasé", c'est-à-dire que la demi-onde positive et la demi-onde négative qui entrent dans l'Emetteur, sont à nouveau prélevées positive et négative sur le Collecteur.

	Common Emitter	Common Collector	Common Base
Gain en tension	moyen	nul	fort
Gain en courant	moyen	moyen	nul
Gain en puissance	fort	faible	moyen
Impédance d'entrée	moyenne	élevée	basse
Impédance de sortie	élevée	basse	élevée
Inversion de phase	oui	non	non

Ce tableau indique ce qui différencie les trois configurations possibles.

Conclusion

Vous avez maintenant en main tous les éléments nécessaires au calcul d'un amplificateur à transistor.

C'est volontairement que nous sommes rentrés dans le détail par le menu. En effet, la plupart des manuels d'électronique donnent des formules compliquées et dont la mise en application s'avère difficile sinon impossible pour l'électronicien amateur (et quelquefois même pour l'électronicien professionnel !). Les formules que nous vous avons proposées sont simples et sont le fruit de très nombreuses années d'expérience. Dans la prochaine leçon, nous passerons à la pratique et vous pourrez, sans mal, le constater.

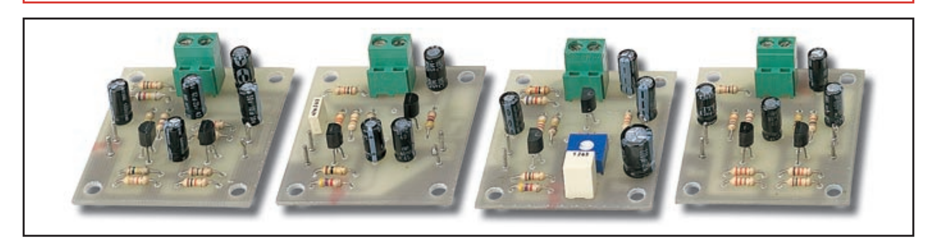
 **G.M.**

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Construction de 4 préamplificateurs à 2 transistors et réalisation d'un testeur de transistors avec mesure Hfe

Pour compléter la théorie que nous avons développée dans les deux précédentes leçons, nous vous présentons quatre différents schémas de préamplificateurs BF, qui utilisent deux transistors et que vous pourrez réaliser pour vous entraîner. Nous compléterons la leçon par la construction d'un testeur de transistors pouvant mesurer la Hfe.



Préamplificateur pour signaux faibles, le LX.5010

Vous trouverez, sur la figure 454a, le schéma électrique d'un préamplificateur utilisant deux transistors NPN. Cette configuration est idéale pour amplifier des signaux très faibles.

Pour réaliser ce préamplificateur, vous pourrez utiliser ces différents types de transistors :

BC172, BC547 ou leurs équivalents.

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent être résumées ainsi :

Tension d'alimentation	**12 volts**
Consommation	**2 milliampères**
Gain total	**50/55 fois**
Signal d'entrée maxi	**150 millivolts c/c**
Signal de sortie maxi	**8 volts c/c**
Charge de sortie (R10)	**47 000 ohms**
Bande passante	**de 20 Hz à 200 000 Hz**

Bien que nous ayons parlé, dans les caractéristiques techniques, d'une tension d'alimentation de 12 volts, ce préamplificateur peut également être alimenté par une tension comprise entre 9 et 15 volts.

Alimenté sous 9 volts, on ne pourra pas appliquer à son entrée des signaux d'amplitude supérieure à 120 millivolts. Si on dépassait ce niveau, le signal de sortie serait distordu.

Comme vous le savez certainement déjà, pour convertir en volts une tension exprimée en millivolts, il faut la diviser par 1 000. Ainsi, un signal de 150 millivolts crête à crête (c/c ou p/p pour "pic to pic") correspond à :

150 : 1 000
= 0,15 volt crête à crête

Dans le schéma électrique de la figure 454a, vous trouverez les valeurs que nous avons mesurées sur l'émetteur, la base et le collecteur de chaque transistor.

Toutefois, pour vérifier que la tension se trouvant sur le collecteur de chaque transistor est bien égale à la moitié de la Vcc, vous devrez effectuer deux opérations toutes simples :

- diviser par 2 la valeur Vcc qui n'est pas 12 volts, mais la valeur de la tension présente après la résistance R9 de 1 000 ohms, c'est-à-dire 10 volts.
- additionner la valeur obtenue à la tension présente entre l'émetteur et la masse.

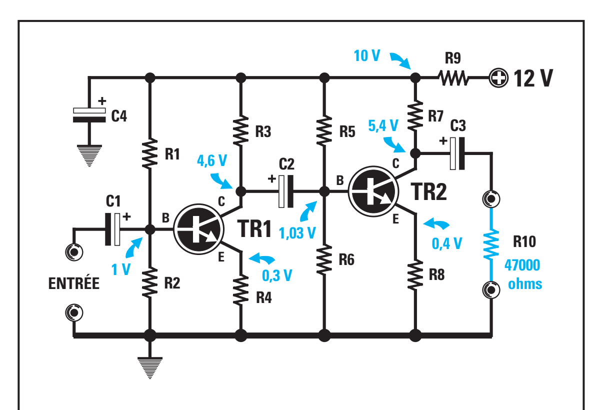


Figure 454a : Schéma classique d'un préamplificateur BF utilisant 2 transistors NPN.

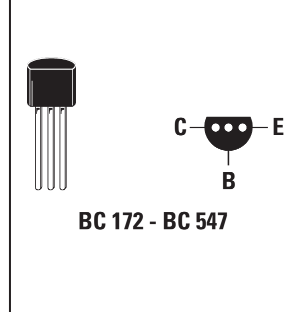


Figure 454b : Connexions CBE du transistor BC172 vues du dessous et de son équivalent, le BC547.



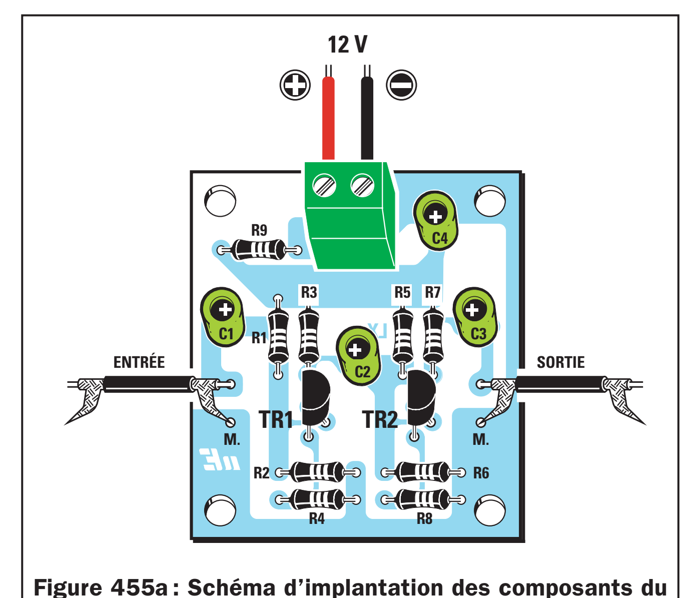


Figure 455a : Schéma d'implantation des composants du préamplificateur LX.5010 pour signaux faibles.

Liste des composants du préamplificateur LX.5010 pour signaux faibles

R1	=	18 kΩ 1/4 W
R2	=	2,2 kΩ 1/4 W
R3	=	2,7 kΩ 1/4 W
R4	=	220 Ω 1/4 W
R5	=	100 kΩ 1/4 W
R6	=	12 kΩ 1/4 W
R7	=	10 kΩ 1/4 W
R8	=	1 kΩ 1/4 W
R9	=	1 kΩ 1/4 W
R10	=	Résistance de charge
C1	=	4,7 µF électrolytique
C2	=	1 µF électrolytique
C3	=	1 µF électrolytique
C4	=	10 µF électrolytique
TR1	=	Transistor NPN BC172
TR2	=	Transistor NPN BC172

On devrait donc trouver, sur le collecteur de TR1, une tension de :

(10 : 2) + 0,3 = 5,3 volts

Même si, en raison de l'utilisation de résistances de valeur standard, vous trouvez une tension de 4,6 volts seulement sur le collecteur de TR1, ne vous en préoccupez pas (voir les figures 437 et 438 de la leçon précédente).

Sur le Collecteur de TR2 par contre, vous devriez trouver une tension de :

(10 : 2) + 0,4 = 5,4 volts

En contrôlant la tension qui se trouve entre le collecteur et la masse de TR2, vous devriez, théoriquement, trouver une tension de 5,4 volts mais cela ne se produira que dans un cas sur cent !

Si vous voulez monter ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé de la figure 455c ou vous procurer le kit LX.5010, comprenant tous les composants et le circuit imprimé déjà gravé et percé.

Sur la figure 455a, nous vous présentons le plan d'implantation du montage, qui vous sera utile pour connaître la position à donner à chacun des composants.

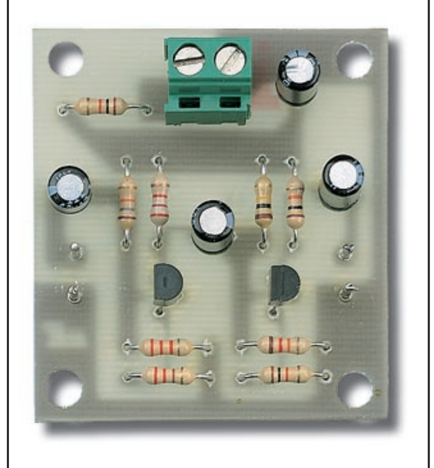


Figure 455b : Photo du préamplificateur LX.5010 (sans sérigraphie).

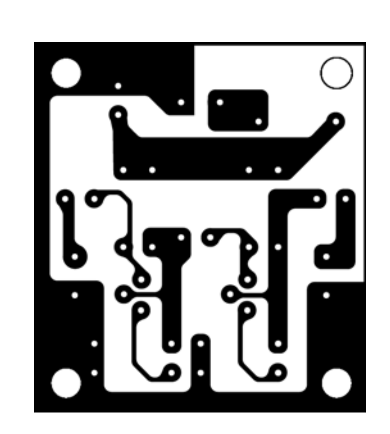


Figure 455c : Dessin à l'échelle 1 du circuit imprimé du préamplificateur LX.5010 pour signaux faibles.

Préamplificateur pour signaux forts, le LX.5011

Le schéma de la figure 456, qui utilise toujours deux transistors NPN, se différencie des schémas classiques de préamplificateurs car, comme vous pouvez le remarquer, la base du second transistor (TR2), est directement reliée au collecteur du transistor TR1 sans l'intermédiaire d'aucun condensateur et le signal amplifié est prélevé sur l'émetteur de TR2 plutôt que sur son collecteur.

Dans ce cas, on devrait trouver entre l'émetteur et la masse, la moitié de la tension Vcc, c'est-à-dire 5,25 volts. Même si l'on trouve une tension de 5,2 volts, il faut admettre que la différence est vraiment dérisoire.

Ce préamplificateur est capable d'accepter sur son entrée des signaux d'amplitude très élevée, c'est-à-dire même de l'ordre de 2 volts crête à crête.

Pour réaliser ce préamplificateur, vous pourrez utiliser indifféremment ces types de transistors :

BC172, BC547 ou d'autres équivalents.

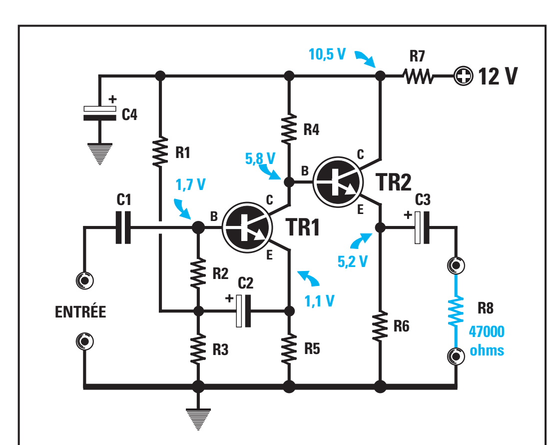


Figure 456 : Sur ce préamplificateur, le signal est prélevé sur l'émetteur de TR2. Remarquez la base de TR2 reliée à TR1 sans aucun condensateur électrolytique.

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent être résumées ainsi :

Tension d'alimentation	**12 volts**
Consommation	**1,5 milliampère**
Gain total	**4/8 fois**
Signal d'entrée maxi	**2 volts c/c**
Signal de sortie maxi	**9,6 volts c/c**
Charge de sortie (R7)	**47 000 ohms**
Bande passante	**de 10 Hz à 900 000 Hz**

qui vous sera utile pour connaître la position à donner à chacun des composants.

l'avantage d'un gain variable allant d'un minimum de 10 fois à un maximum de 33 fois environ, en tournant simplement le curseur du trimmer R4 de 100 000 ohms.

Sur ce schéma, la base du second transistor (TR2) est directement reliée au collecteur du transistor TR1, sans l'intermédiaire d'aucun condensateur, et le signal préamplifié est prélevé sur le

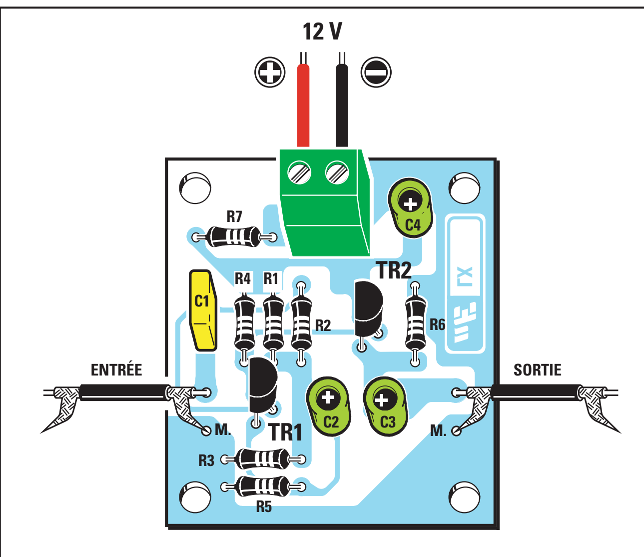


Figure 457a : Schéma d'implantation des composants du préamplificateur LX.5011 pour signaux forts.

Liste des composants du préamplificateur LX.5011 pour signaux forts

R1	=	470 kΩ 1/4 W
R2	=	150 kΩ 1/4 W
R3	=	100 kΩ 1/4 W
R4	=	22 kΩ 1/4 W
R5	=	4,7 kΩ 1/4 W
R6	=	4,7 kΩ 1/4 W
R7	=	1 kΩ 1/4 W
R8	=	résistance de charge
C1	=	47 nF polyester
C2	=	4,7 µF électrolytique
C3	=	1 µF électrolytique
C4	=	22 µF électrolytique
TR1	=	Transistor NPN BC172
TR2	=	Transistor NPN BC172

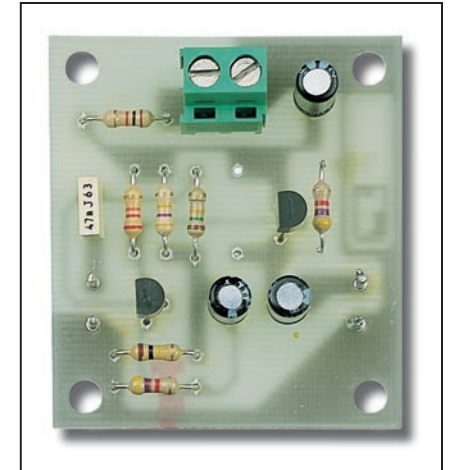


Figure 457b : Photo du préamplificateur LX.5011 (sans sérigraphie).

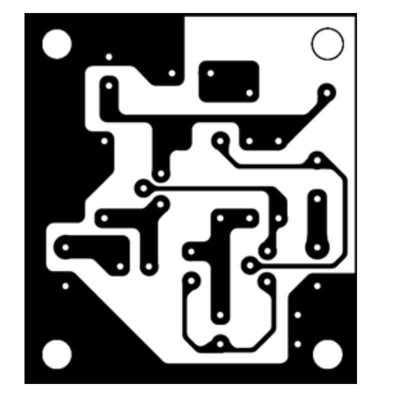


Figure 457c : Dessin à l'échelle 1 du circuit imprimé du préamplificateur LX.5011 pour signaux forts.

collecteur de TR2, grâce au condensateur C4.

Si vous tournez le curseur du trimmer R4 de façon à court-circuiter toute sa résistance, le signal sera amplifié d'environ 10 fois, tandis que, au contraire, si vous tournez le curseur de ce trimmer de façon à utiliser toute sa résistance, le signal sera amplifié d'environ 33 fois. Il est bien évident qu'en tournant le trimmer à mi-course, on obtient un gain intermédiaire !

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent se résumer ainsi :

Tension d'alimentation	**12 volts**
Consommation	**0,8 milliampère**
Gain total	**de 10 à 33 fois**
Signal d'entrée maxi	**0,3-0,8 volts c/c**
Signal de sortie maxi	**9,6 volts c/c**
Charge de sortie (R5)	**47 000 ohms**
Bande passante	**de 20 Hz à 800 000 Hz**

Ce préamplificateur peut être alimenté avec une tension comprise entre 9 et 15 volts.

Si vous voulez monter ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé de la figure 457c ou vous procurer le kit LX.5011, comprenant tous les composants et le circuit imprimé déjà gravé et percé.

Sur la figure 457a, nous vous présentons le plan d'implantation du montage,

Préamplificateur à gain variable, le LX.5012

Le troisième schéma que nous vous proposons sur la figure 458 présente

Ce préamplificateur aussi peut être alimenté avec une tension de 9 ou bien de 15 volts.

Si vous voulez monter ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé de la figure 459c ou vous pro-

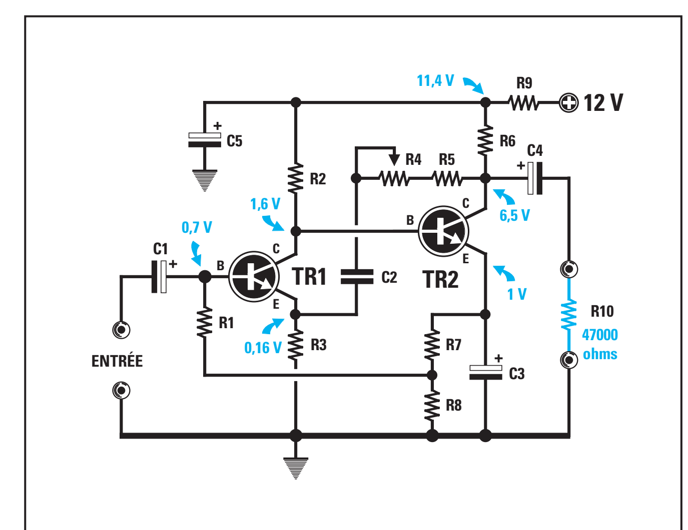


Figure 458 : Sur ce préamplificateur, vous pourrez faire varier le gain de 10 à 33 fois, en tournant le curseur du trimmer R4.

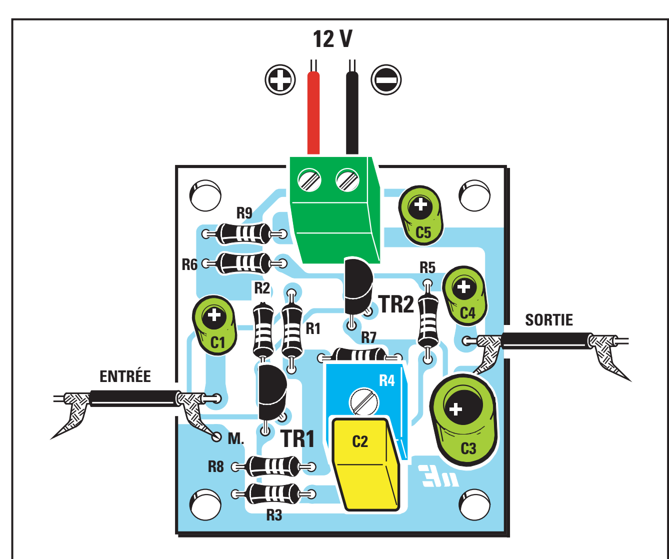


Figure 459a : Schéma d'implantation des composants du préamplificateur LX.5012 à gain variable.

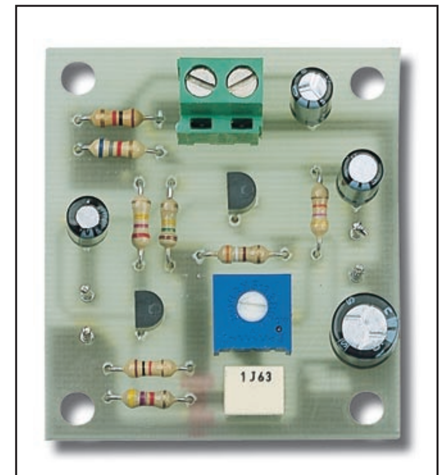


Figure 459b : Photo du préamplificateur LX.5012 (sans sérigraphie).

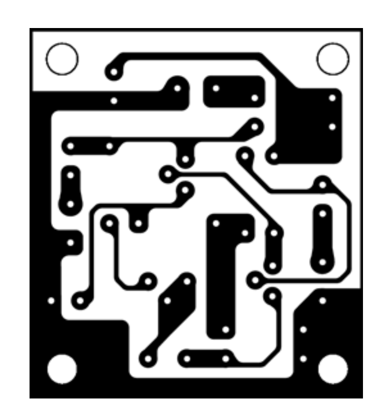


Figure 459c : Dessin à l'échelle 1 du circuit imprimé du préamplificateur LX.5012 à gain variable.

Liste des composants du préamplificateur LX.5012 à gain variable

R1	=	150 kΩ 1/4 W
R2	=	270 kΩ 1/4 W
R3	=	4,7 kΩ 1/4 W
R4	=	100 kΩ trimmer
R5	=	47 kΩ 1/4 W
R6	=	6,8 kΩ 1/4 W
R7	=	390 Ω 1/4 W
R8	=	1 kΩ 1/4 W
R9	=	1 kΩ 1/4 W
R10	=	Résistance de charge
C1	=	10 µF électrolytique
C2	=	1 µF polyester
C3	=	220 µF électrolytique
C4	=	1 µF électrolytique
C5	=	10 µF électrolytique
TR1	=	Transistor NPN BC547
TR2	=	Transistor NPN BC547

curer le kit LX.5012, comprenant tous les composants et le circuit imprimé déjà gravé et percé.

Sur la figure 459a, nous vous présentons le plan d'implantation du montage, qui vous sera utile pour connaître la position à donner à chacun des composants.

Préamplificateur muni d'un PNP et un NPN, le LX.5013

Vous trouverez, sur la figure 460, le schéma électrique d'un préamplificateur idéal pour amplifier des signaux très faibles, et qui utilise un transistor PNP et un NPN.

Pour le PNP, vous pourrez utiliser indifféremment ces types de transistors :

BC213, BC308, BC328 ou d'autres équivalents.

Pour le NPN, vous pourrez utiliser indifféremment ces types de transistors :

BC172, BC547 ou d'autres équivalents.

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent se résumer ainsi :

Tension d'alimentation	**12 volts**
Consommation	**1,2 milliampère**
Gain total	**115 fois**
Signal d'entrée maxi	**70 millivolts c/c**
Signal de sortie maxi	**8 volts c/c**
Charge de sortie (R11)	**47 000 ohms**
Bande passante	**de 20 Hz à 200 000 Hz**

Ce préamplificateur peut également être alimenté avec une tension comprise entre 9 et 15 volts. Il faut tenir compte du fait que, en alimentant avec 9 volts, on ne pourra pas appliquer de signaux ayant une amplitude supérieure à 50 millivolts sur son entrée. Dans le cas contraire, le signal de sortie serait distordu.

Si vous voulez monter ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé de la figure 461c ou vous procurer le kit LX.5013, comprenant tous les composants et le circuit imprimé déjà gravé et percé.

Sur la figure 461a, nous vous présentons le plan d'implantation du montage, qui vous sera utile pour connaître la position à donner à chacun des composants.

Liste des composants du préamplificateur LX.5013 muni d'un PNP et un NPN

R1	=	150 kΩ 1/4 W
R2	=	150 kΩ 1/4 W
R3	=	120 kΩ 1/4 W
R4	=	390 Ω 1/4 W
R5	=	47 kΩ 1/4 W
R6	=	56 kΩ 1/4 W
R7	=	3,9 kΩ 1/4 W
R8	=	150 Ω 1/4 W
R9	=	1 kΩ 1/4 W
R10	=	1 kΩ 1/4 W
R11	=	Résistance de charge
C1	=	10 µF électrolytique
C2	=	47 µF électrolytique
C3	=	47 µF électrolytique
C4	=	10 µF électrolytique
C5	=	22 µF électrolytique
TR1	=	Transistor PNP BC308
TR2	=	Transistor NPN BC172

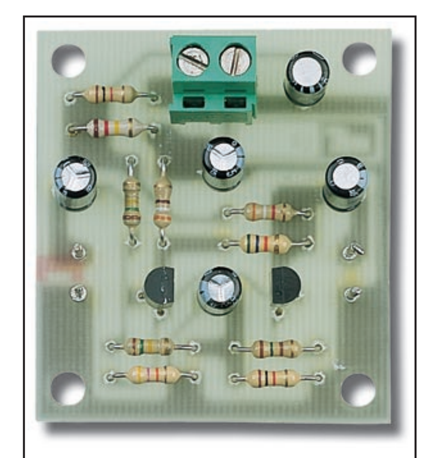


Figure 461b : Photo du préamplificateur LX.5013 (sans sérigraphie).

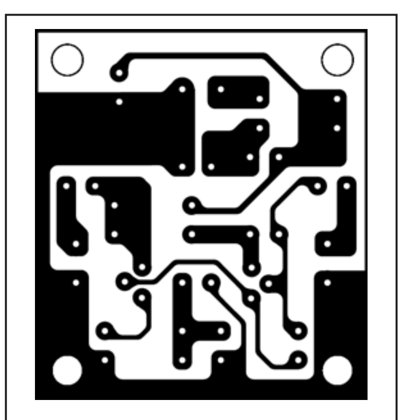


Figure 461c : Dessin à l'échelle 1 du circuit imprimé du préamplificateur LX.5013 muni d'un PNP et un NPN.

Attention :
si vous inversez le transistor NPN et le PNP, le circuit ne pourra pas fonctionner.

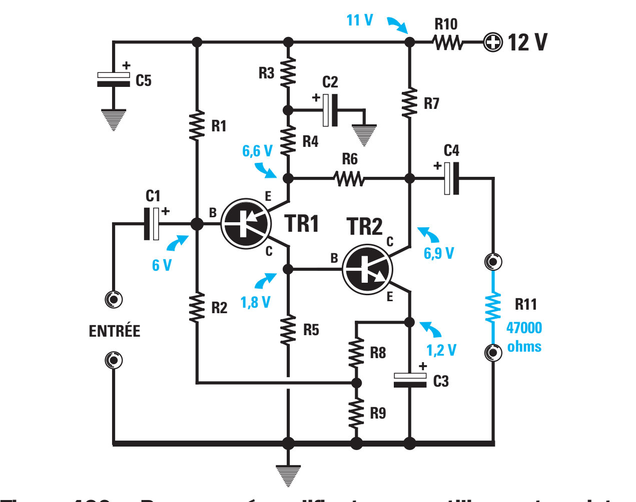


Figure 460a : Pour ce préamplificateur, on utilise un transistor de type PNP (TR1) et un transistor de type NPN (TR2).

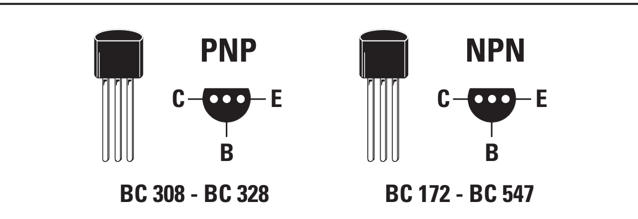


Figure 460b : Même si la forme et les connexions CBE des deux transistors PNP et NPN sont identiques, le corps du transistor PNP porte le sigle BC308 et celui du NPN, BC172.

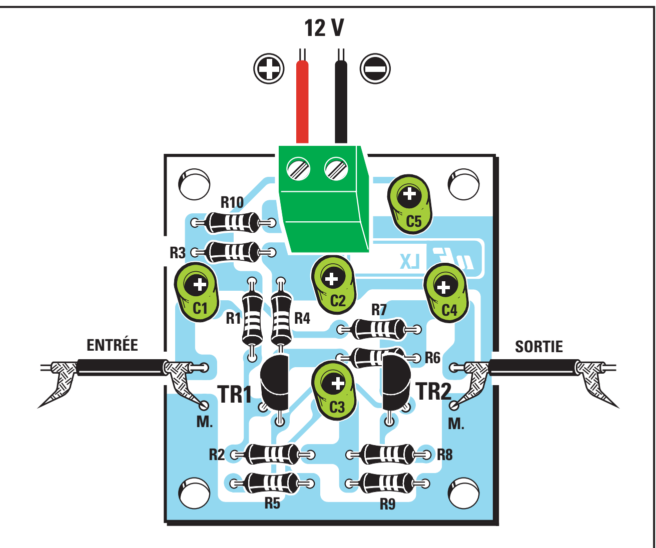


Figure 461a : Schéma d'implantation des composants du préamplificateur LX.5013 muni d'un PNP et un NPN.

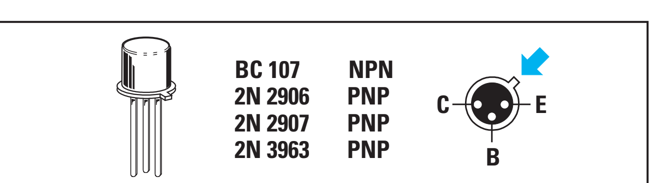


Figure 462 : Si vous avez des transistors métalliques, vous pouvez les utiliser en toute tranquillité. Sur ce dessin, les connexions CBE vues de dessous, c'est-à-dire du côté du corps du transistor d'où sortent les trois pattes.

Conclusion

Nous pouvons vous assurer que lors du montage de ces quatre préamplificateurs, vous ne rencontrerez aucune difficulté et que, comme vous pourrez le constater une fois le montage terminé, ils fonctionneront tous parfaitement, à moins que vous n'ayez effectué de mauvaises soudures ou monté des composants dans le mauvais sens !

Derniers conseils

Pour éviter toute erreur, lisez ce qui suit :

- Lorsque vous appliquez les 12 volts sur les broches d'alimentation, il ne faut pas inverser le négatif et le positif car, si vous commettez cette erreur, les deux transistors peuvent être détruits.

- Pour appliquer le signal sur l'entrée et pour le prélever sur la sortie, vous devrez utiliser du câble blindé, en reliant toujours le blindage à la masse (voir broche M) présente sur le circuit imprimé.

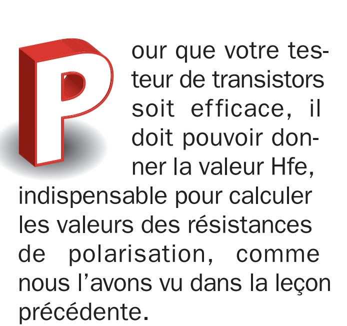
- N'essayez pas de relier un casque sur la sortie de ces préamplificateurs, car ceux-ci ont une impédance de 8 à 32 ohms seulement, tandis que la sortie de ces préamplificateurs a été calculée pour une impédance dont la valeur n'est pas inférieure à 47 000 ohms.

Le signal prélevé sur leurs sorties peut, au contraire, être appliqué directement sur l'entrée de n'importe quel amplificateur de puissance final, même si celui-ci a une impédance d'entrée comprise entre 50 000 et 100 000 ohms.

◆ **G. M.**

Un testeur de transistor simple : le LX.5014

S'il y a bien un instrument qui ne devrait jamais manquer, même dans le plus petit laboratoire, c'est bien le testeur de transistors. Cet appareil permet de savoir immédiatement si le semi-conducteur en votre possession est en état de fonctionnement ou bien s'il est défectueux ou "grillé".



our que votre testeur de transistors soit efficace, il doit pouvoir donner la valeur Hfe, indispensable pour calculer les valeurs des résistances de polarisation, comme nous l'avons vu dans la leçon précédente.

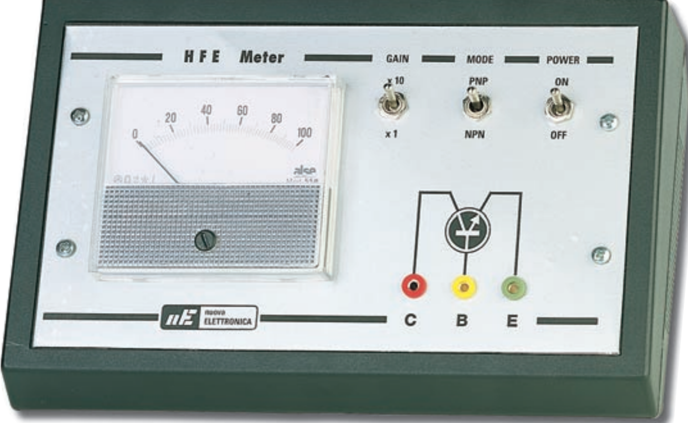


Figure 463.

Comme il est difficile de trouver un testeur de transistors à un prix abordable dans le commerce, nous vous en proposons un à en construire vous-même (figure 463).

Schéma électrique

Pour pouvoir utiliser correctement n'importe quel instrument, il faut tout d'abord comprendre son fonctionnement et pour vous l'expliquer, nous commençons par vous proposer le schéma simplifié de la figure 464a.

Comme vous le savez déjà, vous devez relier le positif de l'alimentation au collecteur de tous les transistors de type NPN, et le négatif de l'alimentation aux transistors PNP (voir les figures 414 et 415 de la leçon 15).

Pour réaliser un testeur de transistors simple, il faut deux piles de polarités inverses ainsi qu'un inverseur (voir S1), qui permette d'appliquer sur le collecteur et sur la base, une tension positive si le transistor est un NPN, ou une tension négative si c'est un PNP.

Pour faire dévier l'aiguille de l'instrument relié au collecteur, toujours de gauche à droite, et jamais en sens inverse, il faut également un pont redresseur composé de quatre diodes au silicium, appelées DS1, DS2, DS3 et DS4 sur le schéma électrique.

Lorsque l'inverseur S1 prélève la tension positive nécessaire sur les deux piles (position NPN), celle-ci traverse la diode DS3, puis arrive sur la broche positive de l'instrument pour sortir sur la broche négative. Elle poursuit alors son chemin, traverse la diode DS2 et rejoint ainsi le collecteur du transistor NPN.

Lorsque l'inverseur S1 prélève la tension positive nécessaire sur les deux piles (position PNP), celle-ci traverse la diode DS1, puis arrive sur la broche négative de l'instrument pour sortir sur la broche positive. Elle poursuit

alors son chemin, traverse la diode DS4 et rejoint ainsi le collecteur du transistor PNP.

Le circuit reproduit sur la figure 464a, pourrait fonctionner que si l'on était capable, pour chaque transistor, de modifier les valeurs des résistances R1 et R2, de façon à faire consommer par la base un courant de 10 microampères.

Comme cette opération n'est pas pratique du tout et, qu'en plus, elle est également très complexe, pour obtenir un instrument de mesure fiable et précis, il est nécessaire de modifier le schéma de la figure 464a pour donner celui de la figure 464b.

Nous démarrons la description de ce schéma définitif par la prise pile d'alimentation de 9 volts que l'on voit à gauche.

Chaque fois que l'on ferme l'interrupteur S1, la tension positive traverse la résistance R1, les quatre diodes, DS1, DS2, DS3 et DS4, ainsi que la résistance R2.

Les quatre diodes au silicium, DS1, DS2, DS3 et DS4 servent à obtenir une tension de référence d'environ 2,8 volts, qui restera stable même si la tension de la pile descend à 8 ou 7 volts.

Figure 464a : Schéma simplifié d'un testeur de transistors. Ce circuit, en pratique, ne devrait pas fonctionner car pour chaque type de transistor différent mis en test, on devrait faire varier la valeur des résistances R1 et R2, de façon à faire consommer un courant égal à 10 microampères à la base.

En fait, comme nous vous l'avons déjà expliqué dans les leçons précédentes, chaque diode au silicium provoque une chute de tension d'environ 0,7 volt. Donc, en plaçant en série quatre diodes, on obtient à l'extrémité, une tension de :

0,7 x 4
= 2,8 volts environ

Cette tension placée aux bornes des trimmers R3 et R4 permet d'obtenir un courant exact de 10 microampères, qui sera ensuite appliqué sur la base des transistors à contrôler.

Comme vous pouvez le voir sur la figure 464b, le point de jonction des deux trimmers, R3 et R4, est relié à la broche 3 du symbole graphique en forme de triangle nommé "IC1/B", qui n'est autre qu'un circuit intégré opérationnel que vous ne connaissez pas

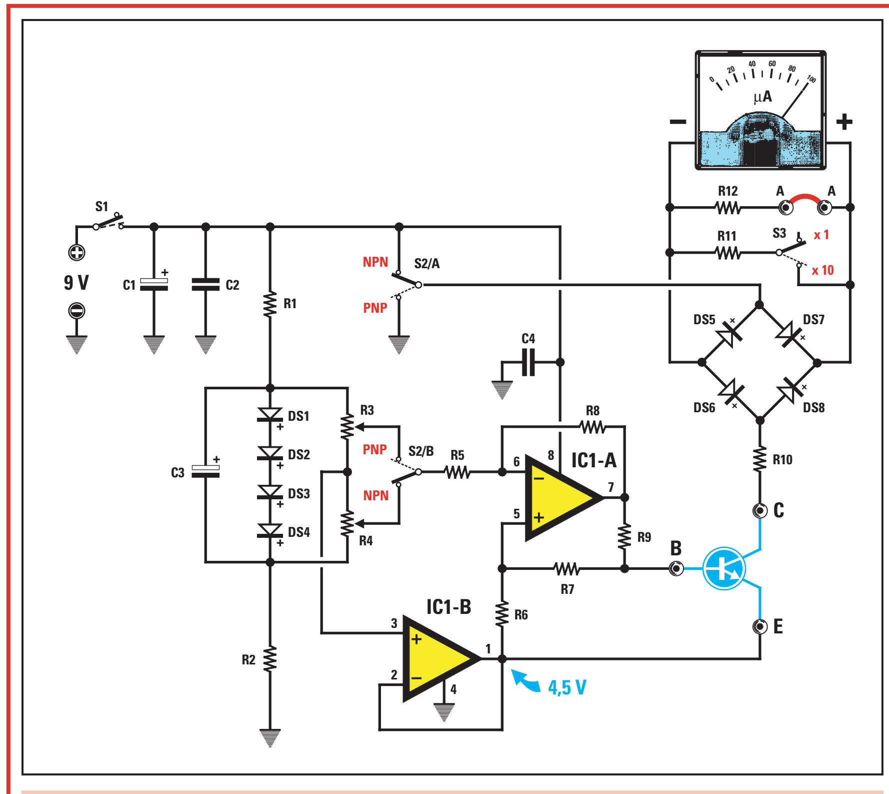


Figure 464b : Schéma pour réaliser un testeur de transistors fiable et précis. Les deux amplificateurs opérationnels IC1/A et IC1/B sont matérialisés par deux triangles et sont contenus à l'intérieur du circuit intégré MC1458 (voir dessin de la figure 466).

Liste des composants du testeur de transistors simple LX.5014

R1	=	10 kΩ 1/4 W
R2	=	10 kΩ 1/4 W
R3	=	10 kΩ trimmer
R4	=	10 kΩ trimmer
R5	=	1 MΩ 1/4 W
R6	=	1 MΩ 1/4 W
R7	=	1 MΩ 1/4 W
R8	=	1 MΩ 1/4 W
R9	=	47 kΩ 1/4 W
R10	=	220 Ω 1/4 W
R11	=	10 Ω 1/4 W
R12	=	100 Ω 1/4 W
C1	=	47 µF électrolytique
C2	=	100 nF polyester
C3	=	1 µF électrolytique
C4	=	100 nF polyester
DS1-DS8	=	Diode 1N4150
IC1	=	Intégré MC1458
S1	=	Interrupteur
S2	=	Inverseur 2 circuits
S3	=	Inverseur 1 circuit
µA	=	Galvanomètre 100 µA

encore, mais que nous vous présenterons dans une prochaine leçon.

Ce circuit intégré IC1/B sert à obtenir sur sa sortie (broche 1), une tension égale à la moitié de celle d'alimentation, c'est-à-dire 4,5 volts, que l'on appliquera sur l'émetteur du transistor.

Si on déplace l'inverseur S2/A vers le positif de la pile (NPN), une tension positive, non plus de 9 volts mais de 4,5 volts c'est-à-dire exactement la moitié, atteindra alors le collecteur du transistor et nous servira ensuite à alimenter tous les collecteurs des transistors de type NPN.

Si on déplace l'inverseur S2/A vers le négatif de la pile, c'est-à-dire vers la masse (PNP), une tension négative, non pas de 9 volts mais de 4,5 volts, c'est-à-dire exactement la moitié, atteindra alors le collecteur du transistor et nous servira ensuite à alimenter tous les collecteurs des transistors de type PNP.

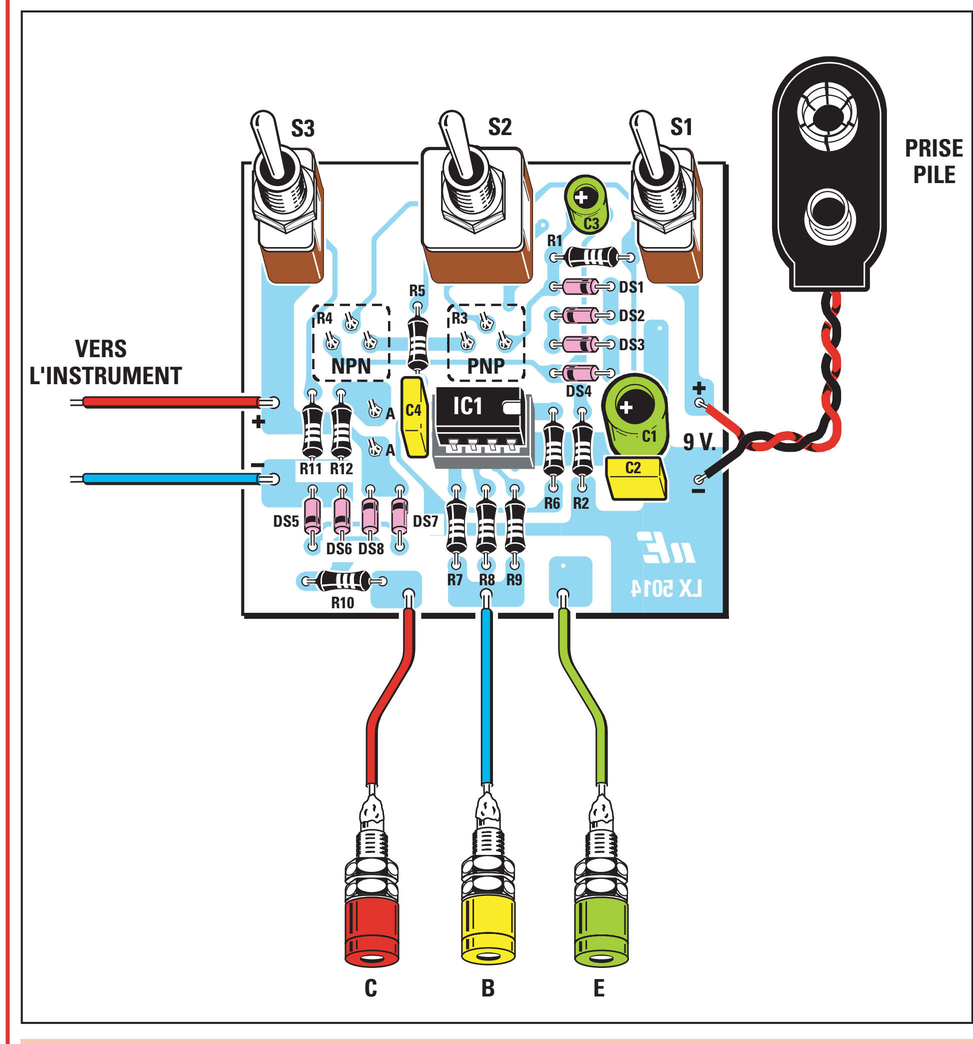


Figure 465a : Schéma d'implantation des composants du testeur de transistors. Dirigez la bague noire de chaque diode DS de la même manière que sur ce dessin.

Puisque S2/A est couplé au second inverseur, S2/B, lorsqu'on déplacera l'inverseur S2/A sur la position NPN, le deuxième inverseur prélèvera automatiquement du curseur du trimmer R4, une tension positive par rapport à la masse, tension que l'on appliquera sur la broche 6 du second circuit intégré opérationnel (voir triangle IC1/A).

De cette façon, on obtiendra sur la broche de sortie 7 de ce circuit intégré une tension positive qui fera consommer à la base de tous les transistors NPN, un courant de 10 microampères exactement.

Lorsqu'on déplacera l'inverseur S2/A sur la position PNP, le deuxième inverseur S2/B prélèvera automatiquement du curseur du trimmer R3, une tension négative par rapport à la masse, que l'on appliquera sur la broche 6 du second circuit intégré opérationnel, IC1/A.

De cette façon, on obtiendra sur la broche de sortie 7 de ce circuit intégré une tension négative qui fera consommer à la base de tous les transistors NPN, un courant de 10 microampères exactement.

La tension positive ou négative que l'on prélèvera sur le curseur de l'inverseur S2/A, passe à travers les diodes DS5, DS6, DS7 et DS8 qui, comme nous l'avons déjà dit, servent à faire dévier l'aiguille de l'instrument de mesure toujours de 0 vers la droite, indépendamment de la polarité négative ou positive que nous leur appliquerons, avant d'atteindre le collecteur du transistor.

Lorsque l'on déplacera l'inverseur S2/A sur la position NPN, la tension positive de la pile passera à travers la diode DS7, puis entrera sur la broche positive de l'instrument de mesure et, sortant sur la broche négative, passera à travers la diode DS6 pour aller alimenter le collecteur du transistor NPN.

Lorsque l'on déplacera l'inverseur S2/A sur la position PNP, la tension négative de la pile passera à travers la diode DS5, puis entrera sur la broche négative de l'instrument de mesure et, sortant sur la broche positive, passera à travers la diode DS8 pour aller alimenter le collecteur du transistor PNP.

L'instrument, relié aux extrémités de ce pont, lira le courant qui parcourt le collecteur, qui est proportionnel à la valeur de sa Hfe.

Si le transistor avait une Hfe = 100, sachant que sa base est parcourue par un courant de 10 microampères, équivalent à 0,01 milliampère, le collecteur serait parcouru par un courant de :

0,01 x 100 = 1 milliampère

Si le transistor avait une Hfe = 1 000, sachant que sa base est parcourue par un courant de 0,01 milliampère, le collecteur serait parcouru par un courant de :

0,01 x 1 000 = 10 milliampères

Etant donné que le galvanomètre est prévu pour lire 100 microampères à fond d'échelle, pour pouvoir lire des valeurs de courant de 1 milliampère et



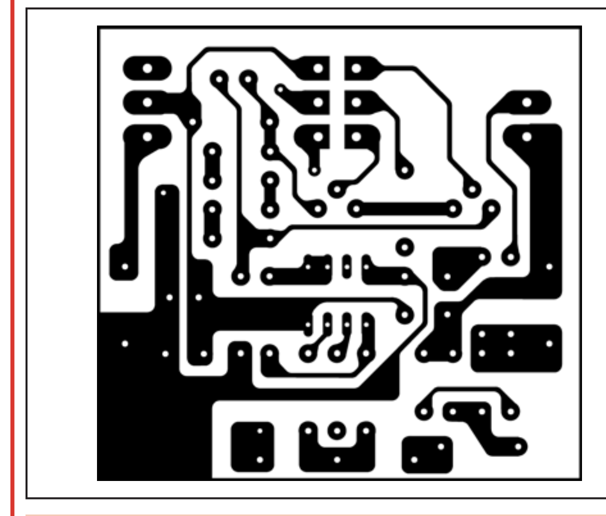


Figure 465b : Dessin du circuit imprimé à l'échelle 1, côté cuivre du testeur de transistors.

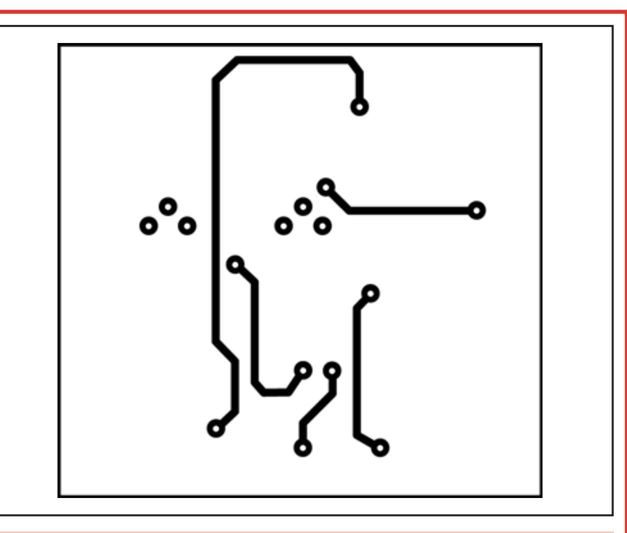


Figure 465c : Dessin du circuit imprimé à l'échelle 1, côté composants du testeur de transistors. Si vous réalisez le circuit imprimé vous-même, les pastilles devront toutes être en liaison avec la face opposée, soit en soudant le composant qui les traverse des deux côtés, soit par un petit morceau de chute de queue de résistance. Pour les 6 trous des pattes des trimmers, vous devrez, avant de mettre ces derniers en place, faire un pont entre les deux faces après avoir agrandi légèrement les trous.

de 10 milliampères, on devra appliquer deux résistances à ces extrémités.

La résistance R12 de 100 ohms, reliée en parallèle à l'instrument de mesure par l'intermédiaire du pont A-A, permet d'obtenir une lecture de 1 mA à fond d'échelle.

La résistance R11 de 10 ohms, reliée en parallèle à l'instrument de mesure par l'intermédiaire de l'interrupteur S3, permet d'obtenir une lecture de 10 mA fond d'échelle.

En déplaçant le levier de l'inverseur S3 sur la position "x1", on peut mesurer n'importe quelle Hfe jusqu'à une valeur maximale de 100.

En déplaçant le levier de l'inverseur S3 sur la position "x10", on peut mesurer n'importe quelle Hfe jusqu'à une valeur maximale de 1 000.

Réalisation pratique

Si vous désirez monter ce testeur de transistors, il vous faudra, soit réaliser le circuit double face donné en figures 465b et 465c, soit vous procurer le kit LX.5014 qui comprend l'ensemble des composants, y compris un circuit imprimé double face à trous métallisés et le boîtier avec face avant percée et sérigraphiée.

Pour la mise en place des composants, inspirez-vous du schéma d'implantation donné en figure 465a.

Le premier composant que nous vous conseillons d'insérer est le support du circuit intégré IC1, dont vous devrez souder toutes les broches du côté opposé, en faisant bien attention de ne pas en court-circuiter deux voisines par un excèdent de soudure.

Une fois cette opération terminée, vous pouvez insérer toutes les résistances puis toutes les diodes en veillant au sens de leur bague-détrompeur.

Si vous insérez une seule diode dans le sens inverse de celui indiqué sur la figure 465a, le circuit ne fonctionnera pas.

Poursuivez le montage en insérant les deux condensateurs polyesters C2 et C4 ainsi que les deux électrolytiques, C1 et C3, en plaçant la broche positive dans le trou marqué du signe "+".

Si la polarité des deux broches n'est pas indiquée sur le corps de ces condensateurs électrolytiques, souvenez-vous que la broche la plus longue est toujours le positif.

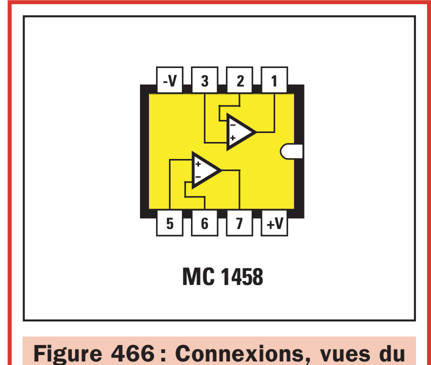


Figure 466 : Connexions, vues du dessus, du circuit intégré MC1458. Notez l'encoche-détrompeur en forme de U sur la droite.

Après ces composants, vous pouvez insérer les inverseurs S1, S2 et S3, en les enfonçant à fond sur le circuit imprimé.

Dans les deux trous de droite (voir figure 465a), vous devez ensuite relier le fil rouge de la prise pile à la piste indiquée par un signe "+" et insérer le fil noir dans le trou en bas, indiqué par un signe "–".

Une fois terminée cette opération, vous devez retourner le circuit imprimé et insérer aux emplacements indiqués sur la figure 469, les deux trimmers R3 et R4, ainsi que les deux broches A-A nécessaires pour relier l'instrument à la résistance R12.

Si vous avez réalisé vous-même le circuit imprimé, comme les trous ne sont évidemment pas métallisés, pour les trimmers R3 et R4, vous devrez agrandir les trous de passage de leurs pattes pour pouvoir, préalablement à leur mise en place, souder un petit morceau de fil (une chute de queue de résistance par exemple) reliant chaque côté du circuit imprimé. Ce petit morceau de fil permettra une métallisation de fortune en assurant le contact entre la soudure des pattes et les pistes de cuivre sur l'autre face. Bien entendu, toutes les pastilles côté composants doivent être soudées des deux côtés, soit par l'intermédiaire du composant qui les traverse, soit par l'intermédiaire d'une chute de queue de résistance. Toutes ces opérations

sont inutiles si vous disposez du circuit commercial.

Sur le côté droit du circuit imprimé, vous devez souder les deux fils de liaison au microampèremètre et sur les trois pistes placées en bas, les trois fils servant à relier les douilles C, B, et E au circuit.

En retournant à nouveau le circuit imprimé, vous pouvez insérer le circuit intégré IC1 dans son support, en dirigeant son encoche-détrompeur en forme de U vers la droite, comme on le voit très clairement sur la figure 465a.

Calibrage du testeur de transistors

Après avoir court-circuité les deux broches A-A à l'aide d'un petit morceau de fil nu (voir figure 469), avant d'utiliser le testeur de transistors, vous devez calibrer les deux trimmers R3 et R4, de cette façon :

- Si vous disposez d'un multimètre, placez-le sur 30 microampères courant continu en lecture à fond d'échelle.

- Positionnez l'inverseur S2 sur NPN, puis reliez la pointe positive de l'instrument sur la douille B et la pointe négative sur la douille E et, enfin, alimentez le circuit avec 9 volts.

- A l'aide d'un tournevis, tournez lentement le curseur du trimmer R4 (voir figure 469 sur la droite du circuit imprimé), jusqu'à faire dévier l'aiguille du multimètre sur 10 microampères.

- Une fois cette opération effectuée, éteignez le testeur de transistors, puis positionnez l'inverseur S2 sur PNP et reliez la pointe positive sur la douille E et la pointe négative sur la douille B. A présent, appliquez à nouveau les 9 volts sur le circuit.

- A l'aide d'un tournevis, tournez lentement le curseur du trimmer R3, sur la gauche du circuit imprimé (voir figure 469), jusqu'à faire dévier l'aiguille du multimètre sur 10 microampères.

Si vous n'avez pas de multimètre, vous pourrez calibrer les trimmers en utilisant l'instrument de 100 microampères du testeur de transistors.

Après avoir retiré du galvanomètre les deux fils qui le reliaient au circuit imprimé, installez provisoirement deux autres fils sur ses bornes "+" et "–" afin de les relier aux douilles B et E.

La procédure à suivre pour le calibrage est à peu près identique à la précédente avec le multimètre.

- Positionnez l'inverseur S2 sur la position NPN, reliez le fil positif de l'instrument sur la douille B et le fil négatif sur la douille E, puis tournez le curseur du trimmer R4 jusqu'à faire dévier l'aiguille du multimètre sur 10 microampères sur le galvanomètre.

- Une fois cette opération effectuée, éteignez le testeur de transistors, puis positionnez l'inverseur S2 sur la position PNP et reliez le fil positif sur la douille E et le fil négatif sur la douille B. A présent, vous pouvez tourner le curseur du trimmer R3 jusqu'à lire 10 microampères sur le galvanomètre.

Une fois les deux trimmers R3 et R4 calibrés, remontez le galvanomètre. Il ne vous reste plus qu'à placer le circuit à l'intérieur du boîtier plastique, comme vous pouvez le voir sur la figure 469.

Montage dans le boîtier plastique

Vous devez insérer les douilles B, C, et E dans la face en aluminium sérigraphiée, en procédant ainsi :

- Dévissez les deux écrous de leur corps, puis retirez la rondelle de plastique, insérez le corps de la douille dans le trou du panneau (voir figure 470a) et insérez par l'intérieur la rondelle de plastique. Fixez ensuite le tout à l'aide des deux écrous. La rondelle de plastique sert à isoler le métal de la douille du métal de la face avant.

Après avoir fixé les douilles, vous pouvez mettre en place le galvanomètre en le fixant à l'aide de ses écrous.

Une fois cette opération accomplie, prenez le circuit imprimé, dévissez les écrous supérieurs des trois inverseurs S1, S2 et S3, puis insérez leurs corps dans les trous présents sur la face avant (voir figure 470b) et fixez-les à l'aide des écrous que vous avez préalablement retirés.

Il ne vous reste plus qu'à souder les trois fils sur les douilles C, B et E et,

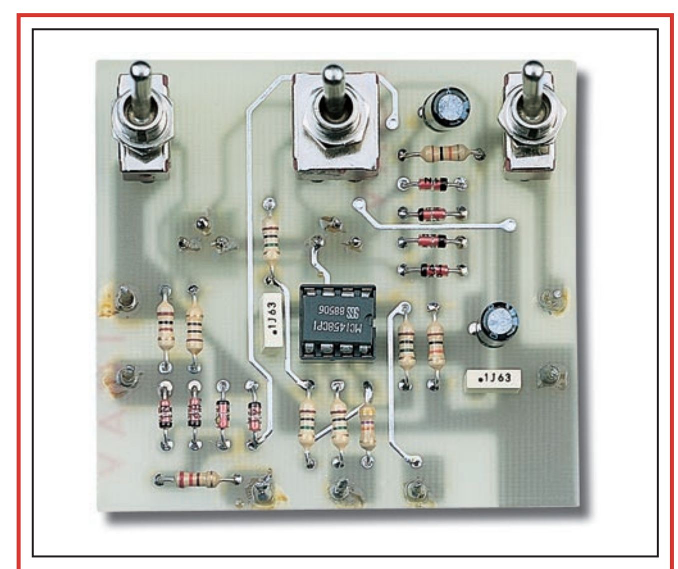


Figure 467 : Photo du testeur de transistors, côté composants.

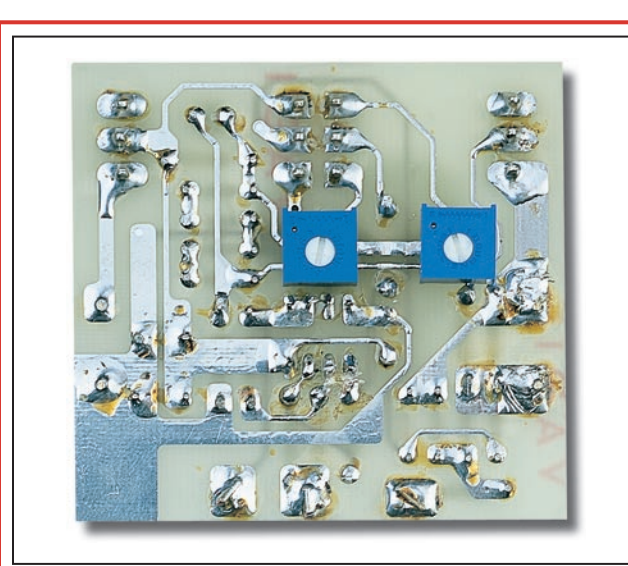


Figure 468 : Photo du testeur de transistors vu du côté des deux trimmers. Si vous effectuez des soudures parfaites, le circuit fonctionnera dès que vous l'aurez terminé et calibré.

Figure 469a : Avant de calibrer le testeur de transistors, vous devez relier ensemble les deux broches A-A, à l'aide d'un petit morceau de fil. Si vous avez un multimètre, après l'avoir commuté sur 30 microampères à fond d'échelle, reliez ses deux broches sur les douilles B et E, comme expliqué dans le paragraphe "Calibrage du testeur de transistors".

si ce n'est déjà fait, serrer les deux fils "+" et "–"entre les deux écrous "+" et "–" du galvanomètre (voir figure 469).

Si vous invertissez ces deux fils, l'aiguille de l'instrument ne déviera pas comme prévu vers le fond d'échelle, mais déviera dans le sens contraire.

Une fois le boîtier fermé, vous pouvez commencer à contrôler le gain de tous vos transistors.

Comment utilise-t-on l'instrument

Pour pouvoir tester n'importe quel transistor, vous devez nécessairement connaître la disposition de ses trois pattes E, B et C, de façon à les relier correctement aux bornes de l'instrument.

Si vous ne connaissez pas la disposition des broches des transistors que vous voulez utiliser, il existe un petit appareil que nous avons appelé "Transistor pin-out checker" (ELM numéro 7, page 24 et suivantes). Cet appareil est équipé d'un microcontrôleur programmé pour définir le brochage de n'importe quel transistor. Il est également capable de savoir si un transistor est bon pour le service ou non (voir figure 471).

Pour les transistors que nous avons utilisés dans les préamplis de cette leçon, les brochages sont donnés dans les figures 454b, 460b et 462.

Comme vous pouvez également le remarquer, sur la liste des composants nous avons indiqué s'il s'agit de PNP ou de NPN.



Figure 469b : Vue, dans le boîtier, du circuit du testeur de transistors et de l'arrière du galvanomètre.

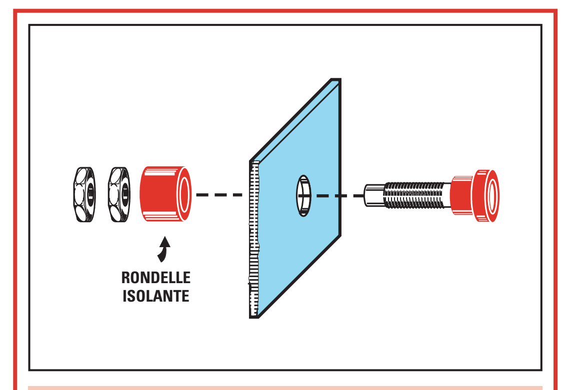


Figure 470a : Avant d'insérer les trois douilles E, B et C dans les trous de la face avant, vous devrez les démonter afin de retirer leur rondelle isolante pour pouvoir la monter au dos de la face avant.

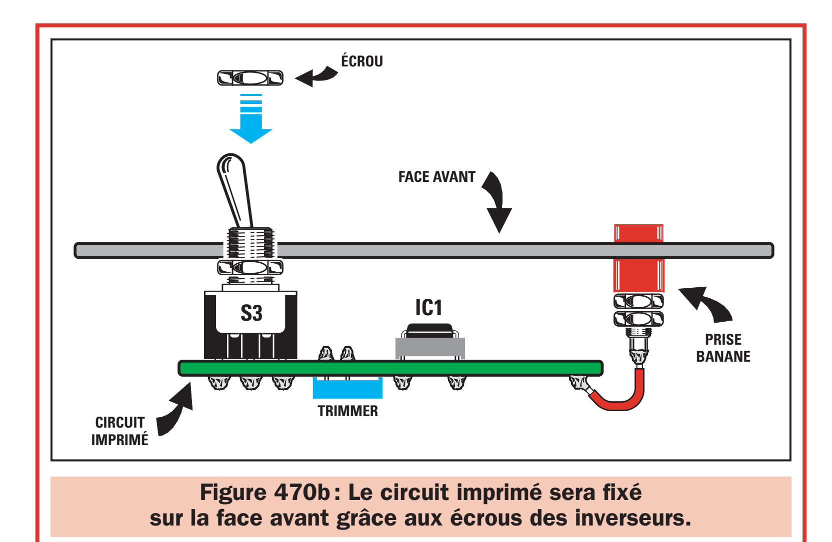


Figure 470b : Le circuit imprimé sera fixé sur la face avant grâce aux écrous des inverseurs.

Une fois les broches E, B et C reliées sur leurs emplacements respectifs, déplacez le levier de l'inverseur S2 sur la polarité du transistor soumis à l'examen, c'est-à-dire sur PNP, s'il s'agit d'un PNP, ou bien sur NPN, s'il s'agit d'un NPN.

Positionnez l'inverseur S3 sur "x10".

Nous vous conseillons de toujours commencer avec "x10", car si le transistor était en court-circuit, cela éviterait de faire taper l'aiguille de l'instrument de mesure à fond d'échelle.

Une fois l'appareil allumé, si vous constatez que la Hfe est inférieure à 100, vous pouvez déplacer l'inverseur sur "x1".

Etant donné que l'échelle de l'instrument est graduée de 0 à 100, vous lirez directement la valeur de la Hfe sur la portée "x1". Donc, si l'aiguille s'arrête sur "55", cela signifie que le transistor soumis à l'examen a une Hfe de 55.

Sur la seconde portée, "x10", vous devrez multiplier la valeur lue sur l'échelle de l'instrument par 10. Donc, si l'aiguille s'arrête sur "55", le transistor a alors une Hfe de 55 x 10 = 550.

Si le transistor est défectueux, il y a deux possibilités :

- le transistor est "grillé" : l'aiguille de l'instrument reste immobile sur le 0,

- le transistor est en court-circuit : l'aiguille de l'instrument dévie à fond d'échelle, même sur la portée "x10".

◆ **G. M.**

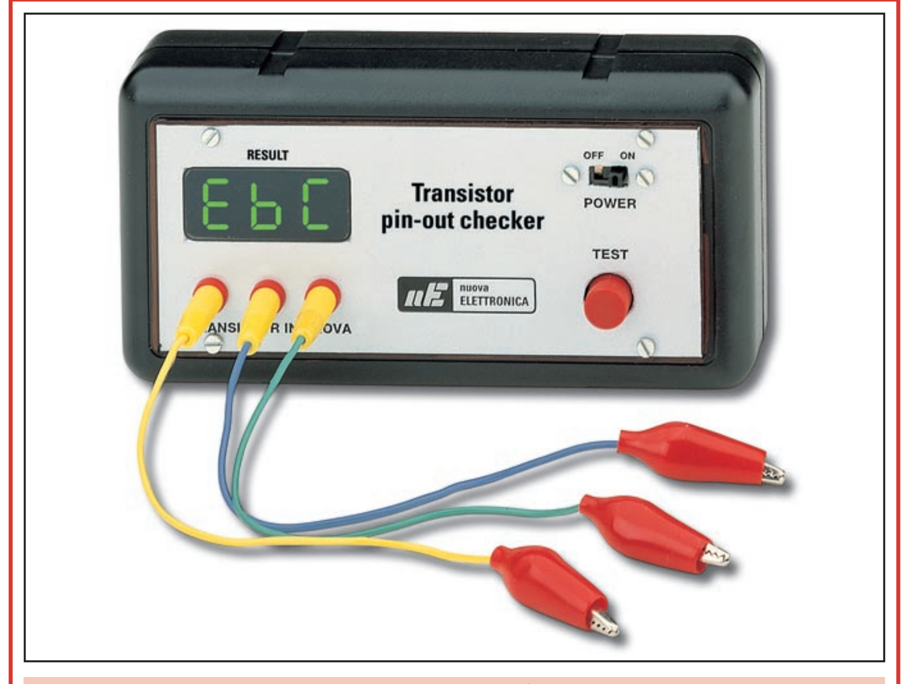


Figure 471 : Cet appareil vous permettra de détecter rapidement la disposition des pattes E, B et C d'un transistor et de savoir s'il s'agit d'un type PNP ou NPN. Si le transistor en examen est défectueux, vous verrez apparaître sur les afficheurs 7 segments le mot anglais "bAd" (mauvais). Cet appareil est décrit dans ELM numéro 7.

Coût de la réalisation*

Tous les éléments pour réaliser le préamplificateur LX.5010 pour signaux faibles, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 28 F. Le circuit imprimé seul : 9 F.

Tous les éléments pour réaliser le préamplificateur LX.5011 pour signaux forts, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 28 F. Le circuit imprimé seul : 9 F.

Tous les éléments pour réaliser le préamplificateur LX.5012 à gain variable, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 37 F. Le circuit imprimé seul : 9 F.

Tous les éléments pour réaliser le préamplificateur LX.5013 muni d'un PNP et un NPN, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 33 F. Le circuit imprimé seul : 9 F.

Tous les éléments pour réaliser le testeur de transistors simple LX.5014, y compris le circuit imprimé double face à trous métallisés et le boîtier avec face avant percée et sérigraphiée : 330 F. Le circuit imprimé seul : 26 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Connaître le semi-conducteur FET

Dans les précédentes leçons, nous vous avons expliqué comment fonctionne un transistor et comment on calcule la valeur des résistances à appliquer sur ses sorties, appelées Base, Emetteur et Collecteur.

Dans cette leçon, nous vous expliquerons le fonctionnement d'un "FET". Ce semi-conducteur est un transistor particulier, utilisé pour amplifier les signaux basse et haute fréquence.

Comme vous le verrez, pour faire fonctionner correctement un FET, il est nécessaire de calculer la valeur de deux résistances seulement. Celle qui sera reliée à la sortie appelée Drain et celle qui sera reliée à la sortie appelée Source. Pour ce faire, nous avons utilisé peu de formules mathématiques, de surcroît très simples.

En effectuant ces calculs, vous vous apercevrez que les valeurs des résistances que nous devrions utiliser ne se trouvent jamais. Ne vous en souciez pas pour autant car, si vous choisissez une valeur standard proche de la valeur calculée, le circuit fonctionnera de la même manière et sans aucun problème. Donc, si les calculs vous donnent comme résultat une valeur de 1 670 ohms, vous pourrez tranquillement utiliser une résistance de 1 500 ou 1 800 ohms.

Pour compléter cette leçon, nous vous proposerons la réalisation de 3 amplificateurs et vous présentons un instrument adapté à la mesure de la valeur "Vgs" de n'importe quel FET. Grâce à cette donnée, calculer la valeur des deux résistances sera ensuite beaucoup plus facile et la précision du résultat, plus grande.

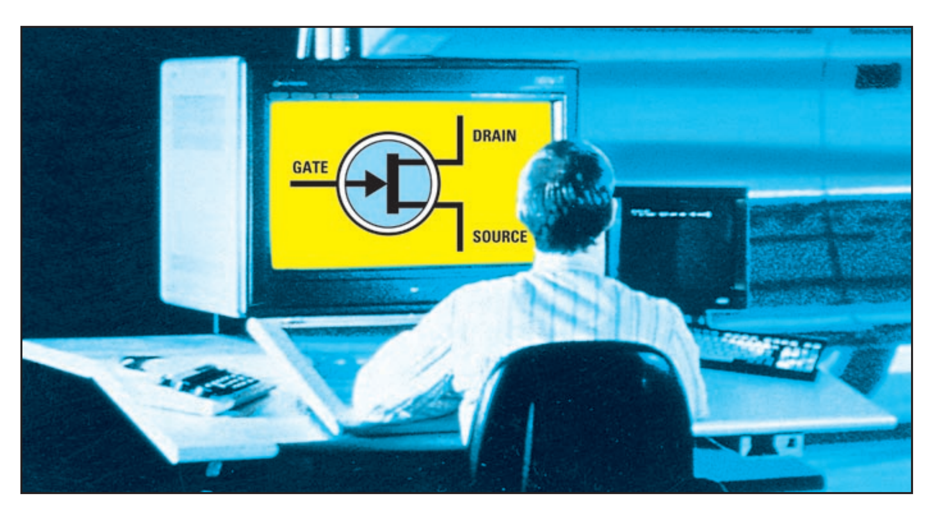
Outre le transistor conventionnel, il existe un autre semi-conducteur appelé FET, qui peut être utilisé en électronique pour amplifier aussi bien les signaux basse fréquence que haute fréquence.

Le sigle "FET" signifie Field Effect Transistor, ce qui se traduit par "transistor à effet de champ". Dans le langage courant on dira souvent "transistor FET" ou simplement "FET".

Ce composant est généralement représenté dans les schémas électriques par un symbole graphique que vous pouvez voir sur les figures 472 et 473, c'est-à-dire par un cercle duquel sortent 3 broches portant les lettres G, D et S :

La lettre G signifie Gate (porte)
La lettre D signifie Drain
La lettre S signifie Source

Si toutefois, sur un schéma électrique, vous ne deviez pas trouver les lettres G, D et S pour identifier les broches de ce symbole, souvenez-vous de ceci :



- La broche Gate est reconnaissable grâce à une flèche qui part du centre d'une barre verticale ou qui la rejoint. On applique presque toujours le signal à amplifier sur cette broche.

- La broche Drain est reconnaissable car elle est dirigée vers le haut et également parce que c'est la broche sur laquelle est prélevé le signal amplifié.

- La broche Source est reconnaissable car elle est dirigée vers le bas et que normalement, on la relie à la masse d'alimentation.

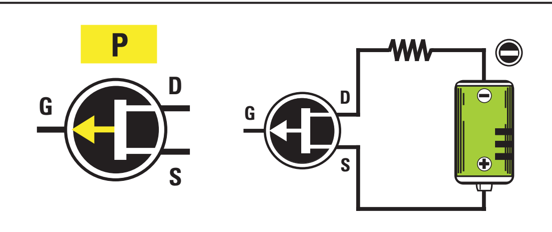


Figure 472 : On reconnaît les FET de canal P parce que la flèche qui se trouve sur la ligne qui part de leur Gate, est tournée vers l'extérieur. Dans ces FET, le Drain est relié au négatif de l'alimentation et la Source, au positif.

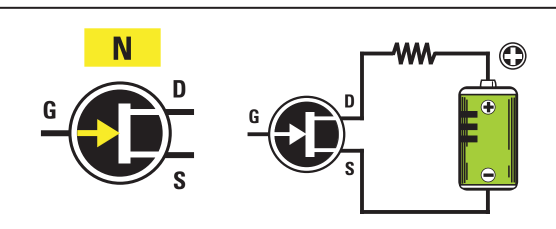


Figure 473 : On reconnaît les FET de canal N parce que la flèche qui se trouve sur la ligne qui part de leur Gate, est tournée vers l'intérieur. Dans ces FET, le Drain est relié au positif de l'alimentation et la Source, au négatif.

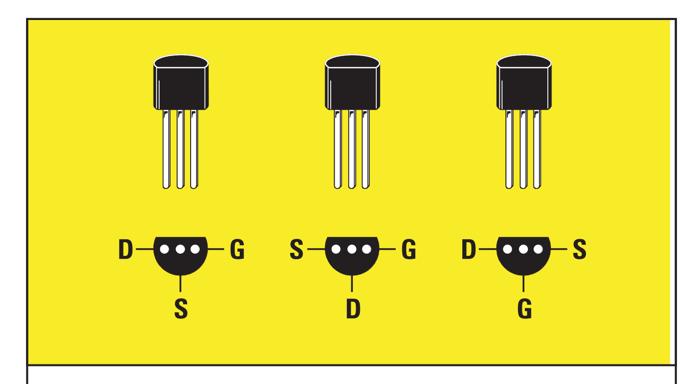


Figure 474 : Les trois pattes qui sortent du corps d'un FET, peuvent être disposées dans l'ordre D-S-G, S-D-G. ou bien D-G-S.

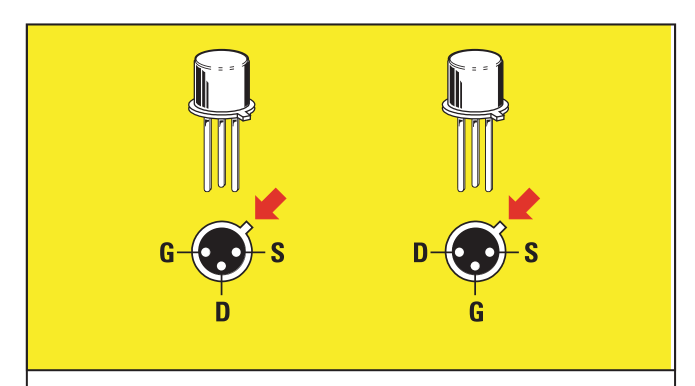


Figure 475 : Pour identifier les trois pattes, on prend comme référence la forme en demi-lune (figure 474) ou l'encoche métallique.

Sur les schémas graphiques, il faut faire très attention à la flèche placée sur la broche Gate.

Si cette flèche est dirigée vers l'extérieur, ce FET est de type P (voir figure 472).

Si cette flèche est dirigée vers l'intérieur, ce FET est de type N (voir figure 473).

Signalons que 90 % des FET sont de type N. La différence entre un P et un N concerne seulement la polarité d'alimentation.

Dans les FET à canal P, le Drain est toujours relié au négatif de l'alimentation et la Source, au positif (voir figure 472).

Dans les FET à canal N, le Drain est toujours relié au positif de l'alimentation et la Source, au négatif (voir figure 473).

Les broches S-G-D

Les trois broches S-G-D qui sortent du corps d'un FET peuvent être disposées de façon différente en fonction de leur référence et de leur fabricant.

Dans chaque schéma électrique, on devrait toujours trouver le brochage des FET utilisés (voir les figures 474 et 475).

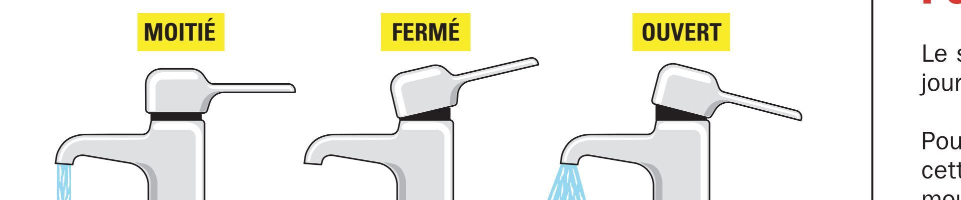


Figure 476 : Le levier d'ouverture et de fermeture d'un robinet qui simule un FET est fixé dans le sens inverse de celui d'un robinet normal.

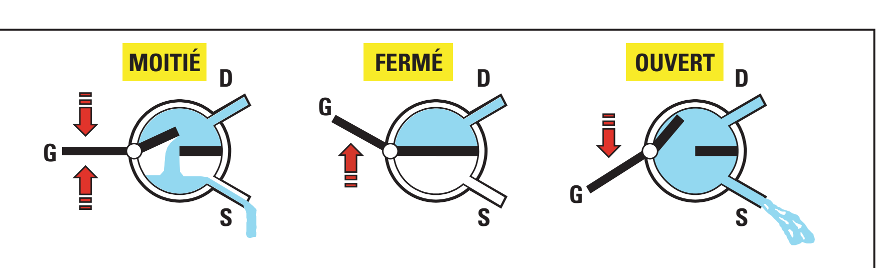


Figure 477 : Pour réduire ou augmenter le flux des électrons d'un FET, il faut seulement déplacer le "levier" de la Gate vers le haut ou vers le bas.

Pour amplifier un signal

Le signal à amplifier est presque toujours appliqué sur la Gate.

Pour vous faire comprendre comment cette jonction parvient à contrôler le mouvement des électrons, comparons le FET à un robinet.

Comme nous l'avons déjà expliqué à propos des transistors conventionnels, pour laisser passer un flux d'eau de moyenne intensité, il faudra positionner le robinet à mi-course.

Dans le robinet, qui simule le FET, le levier d'ouverture et de fermeture est remplacé par la Gate (voir figure 477).

Donc, si nous déplaçons ce levier vers le haut, le flux de l'eau cessera, et si au contraire on le déplace vers le bas,

le flux de l’eau atteindra son intensité maximale (voir les figures 476 et 477).

Pour amplifier un signal, ce levier devra toujours être positionné à mi-course, car c’est seulement dans cette position que l’eau (les électrons) sortira avec un flux de moyenne intensité.

Si l’on déplace alors le levier vers le bas, le flux de l’eau augmentera, tandis que si on le déplace vers le haut, le flux cessera.

Ceci dit, il semble évident que la Gate d’un FET fonctionne dans le sens inverse de celui de la Base d’un transistor de type NPN.

En fait, si on applique une tension de 0 volt sur la Base d’un transistor, celui-ci n’est pas conducteur, c’est-à-dire qu’il ne laisse passer aucun électron. Pour le rendre conducteur, il faut appliquer une tension positive sur cette jonction.

Si on applique une tension de 0 volt sur la Gate d’un FET, celui-ci laissera passer un maximum d’électrons. Pour l’empêcher d’être conducteur, il faudrait appliquer une tension négative sur cette jonction, c’est-à-dire une tension de polarité opposée à celle nécessaire pour un transistor de type NPN.

Pour mieux vous faire comprendre pourquoi une tension négative est nécessaire sur la Gate d’un FET, on utilisera le même levier mécanique avec un point d’appui situé à l’écart du centre, comme sur la figure 478.

Nous appelons le côté le plus court “Gate” et le côté le plus long, “Drain”.

Etant donné qu’un gros poids se trouve sur le côté du Gate, ce côté s’appuiera sur le sol en soulevant le côté Drain vers le haut (voir figure 478).

Si on essaie, à présent, de soulever le côté le plus court vers le haut, la partie opposée se baissera (voir figure 479), mais si on essaie de bouger le côté le plus court vers le bas, celui-ci ne pourra pas descendre car il touche déjà le sol (voir figure 480).

Pour permettre à la Gate de bouger aussi bien vers le haut que vers le bas, on doit nécessairement placer ce levier en position horizontale, en

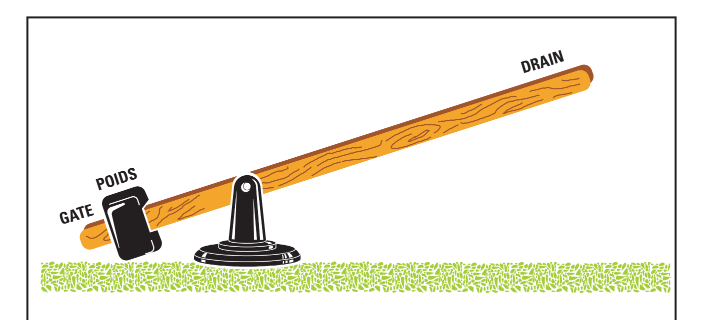


Figure 478 : Pour comprendre le fonctionnement d’un FET, on peut prendre comme exemple un levier mécanique normal. Etant donné qu’un gros poids se trouve sur le côté le plus court de la Gate, le côté opposé, le Drain, sera soulevé.

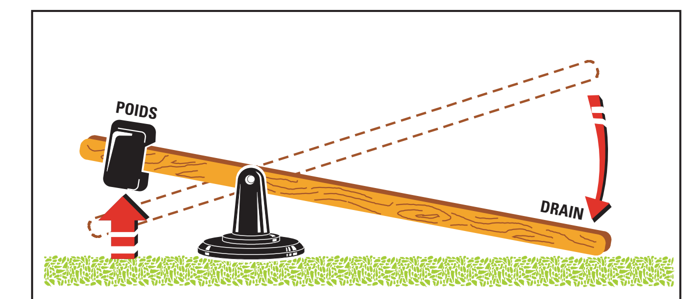


Figure 479 : Si l’on pousse la Gate vers le haut, la partie opposée du Drain se baissera jusqu’à appuyer sur le sol. La différence de déplacement entre la Gate et le Drain peut être comparée à l’amplification.

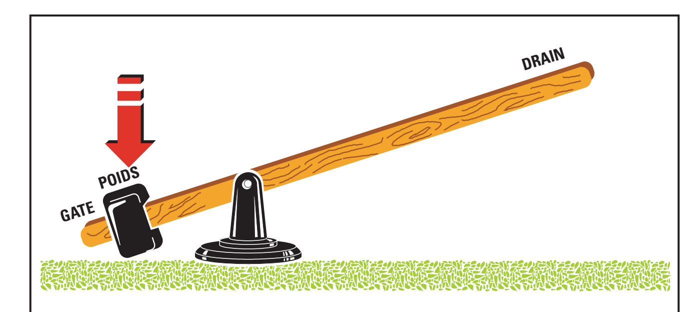


Figure 480 : Si l’on pousse le côté de la Gate vers le bas, il ne pourra pas descendre plus car il appuie déjà sur le sol. Pour pouvoir le bouger vers le bas, le levier devrait se trouver à mi-hauteur (voir figure 481).

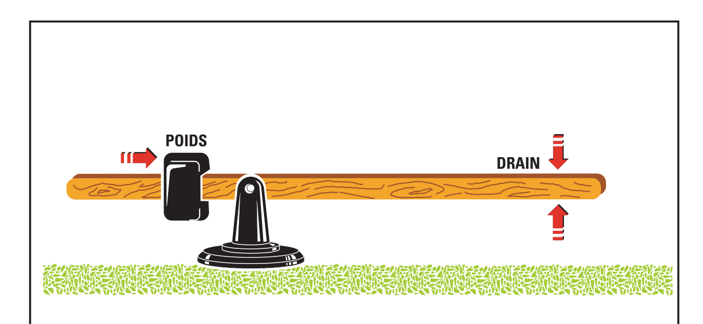


Figure 481 : Pour mettre le levier en position horizontale, il faut appliquer le poids de la Gate plus vers son point d’appui, et ce déplacement s’obtient en appliquant une tension “négative” sur la Gate.

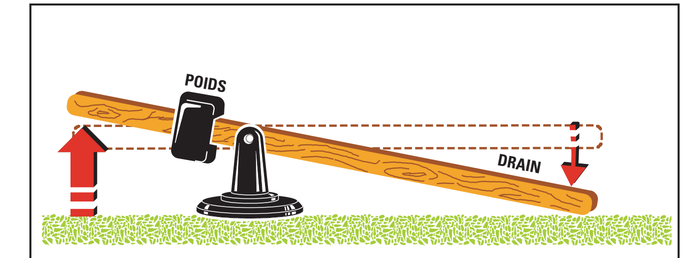


Figure 482 : Une fois ce levier en position horizontale, si l’on essaie de pousser la Gate vers le haut, il est évident que la partie opposée et correspondant au Drain descendra jusqu’à toucher le sol.

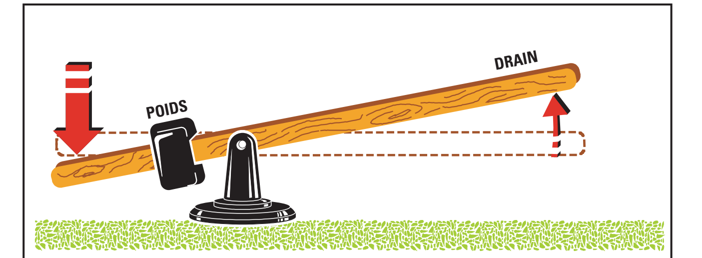


Figure 483 : Si, de la position horizontale, on pousse la Gate vers le bas, la partie opposée et correspondant au Drain se lèvera. L’onde sinusoïdale que l’on appliquera sur la Gate déplacera ce levier vers le bas ou vers le haut.

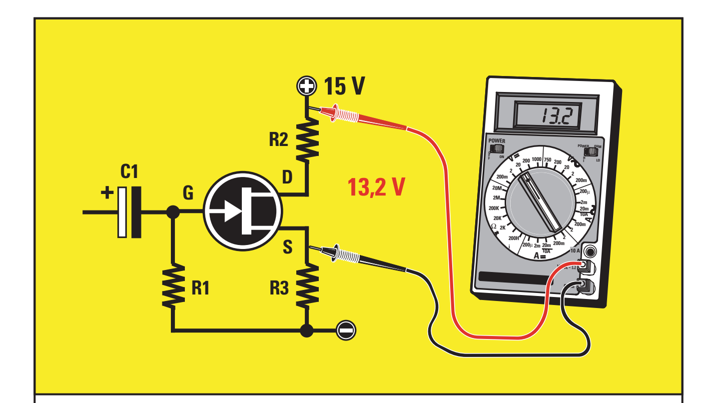


Figure 484 : La tension d'alimentation réelle d'un FET est celle que l'on trouvera entre le positif de la pile et la Source.

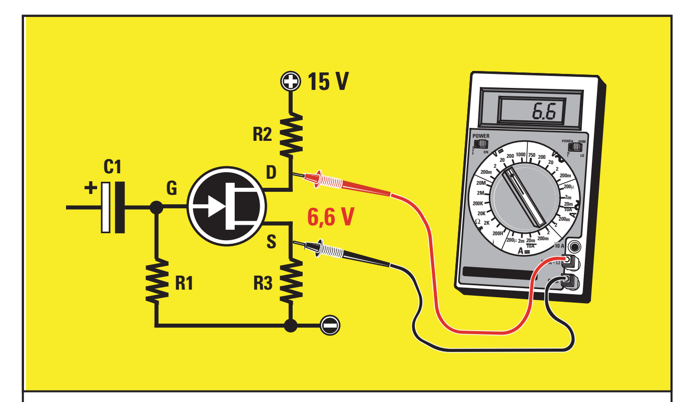


Figure 485 : Le FET sera parfaitement polarisé lorsqu'on trouvera la moitié de la tension sur les deux pattes, D et S (voir figure 484).

déplaçant le poids vers son point d'appui, comme nous l'avons vu sur la figure 481.

Electroniquement, pour déplacer ce poids, il suffit d'appliquer une tension négative sur la Gate.

Une fois cette position horizontale obtenue, lorsqu'un signal de polarité négative arrivera sur la Gate, ce côté se lèvera (voir figure 482) et, par conséquent, l'extrémité opposée, le Drain, descendra.

Lorsqu'un signal de polarité positive arrivera sur la Gate, ce côté se baissera (voir figure 483) et, bien sûr, l'extrémité opposée, le Drain, se lèvera.

Il faut signaler qu'il n'est possible de placer ce levier en position parfaitement horizontale seulement lorsque la tension négative appliquée sur la Gate permet de faire descendre la tension présente sur le Drain d'une valeur égale à la moitié de la valeur Vcc d'alimentation.

Donc, si on alimente le FET à l'aide d'une tension de 15 volts, on devra appliquer sur la Gate une tension négative capable de faire descendre la tension présente sur le Drain à 7,5 volts.

Si on alimente le FET avec une tension de 20 volts, on devra appliquer sur la Gate une tension négative capable de faire descendre la tension présente sur le Drain à 10 volts.

Il faut signaler que la tension d'alimentation Vcc d'un FET ne doit jamais être mesurée entre le positif et la masse, mais toujours entre le positif et la Source (voir figure 484), c'est donc la moitié de la tension d'alimentation qui est prélevée entre le Drain et la Source (voir figure 485). C'est pourquoi, si la tension Vcc que l'on applique entre le Drain et la masse est de 15 volts, mais qu'une tension de 1,8 volt est présente aux bornes de la résistance R3 reliée entre la Source et la masse, on devra soustraire cette valeur des 15 volts.

C'est pour cette raison que le Drain du FET ne sera pas alimenté avec 15 volts, mais avec une tension de :

15 – 1,8 = 13,2 volts

En fait, si l'on mesure la tension présente entre le positif d'alimentation et la Source, on lira exactement 13,2 volts (voir figure 484).

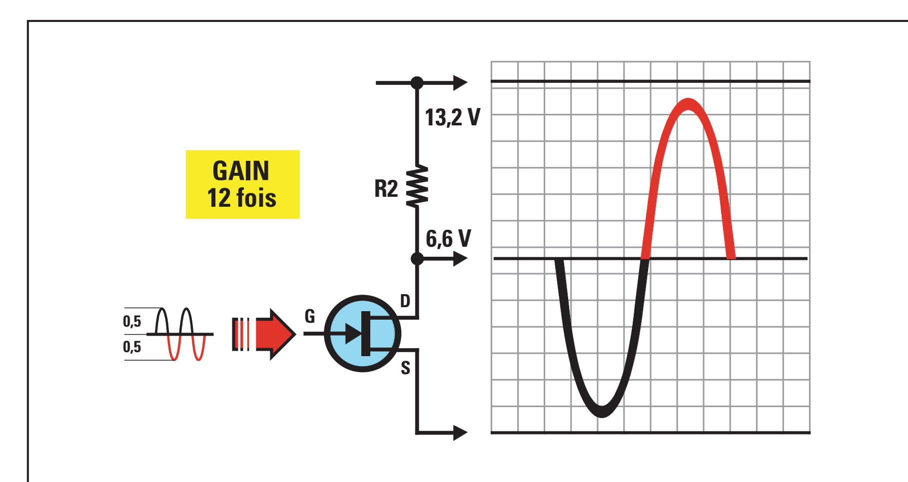


Figure 486 : Si une tension égale à la "moitié" de la tension Vcc (voir figure 485), se trouve sur le Drain d'un FET, on pourra amplifier de 12 fois un signal sinusoïdal composé d'une demi-onde positive et d'une demi-onde négative de 0,5 volt.

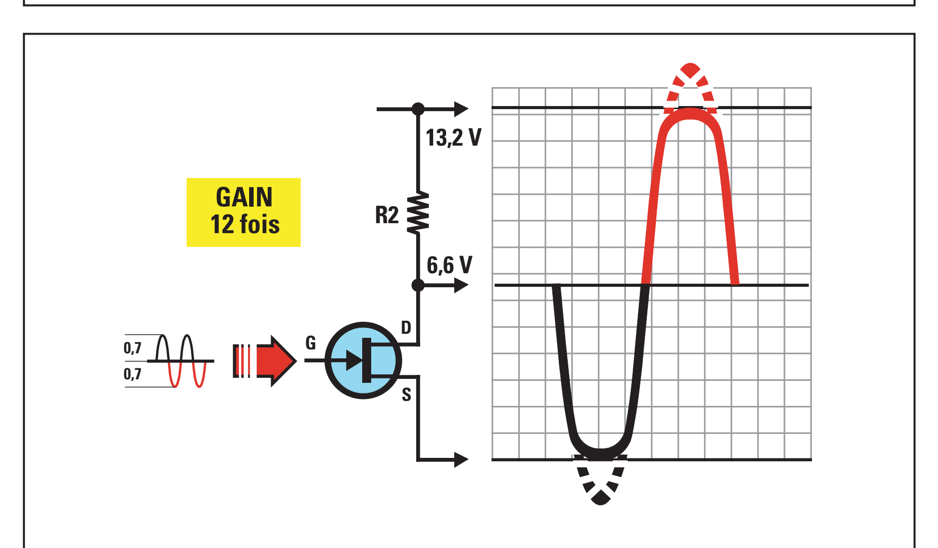


Figure 487 : Si on amplifie 12 fois un signal sinusoïdal composé d'une demi-onde positive et d'une négative de 0,7 volt, le signal amplifié, dépassant les lignes du tracé, subira une légère distorsion.

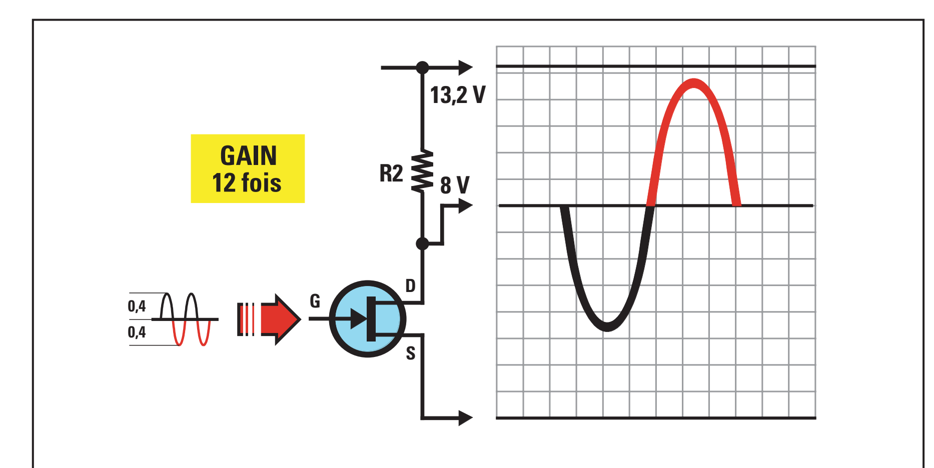


Figure 488 : Si la tension présente sur le Drain du FET était non pas de 6,6 mais de 8 volts, on pourrait éviter de couper le signal amplifié en appliquant sur la Gate, un signal de 0,4 + 0,4 volt au lieu de 0,5 + 0,5.

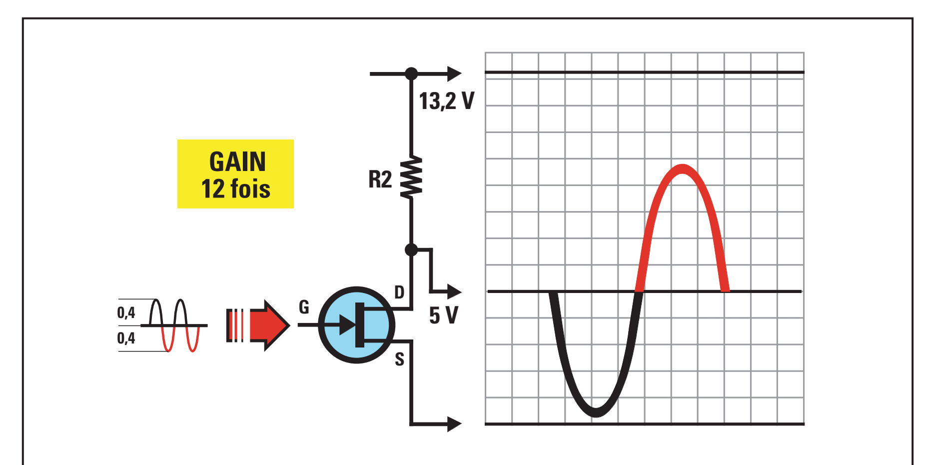


Figure 489 : Si la tension présente sur le Drain était non pas de 6,6 mais de 5 volts, on devrait à nouveau appliquer sur la Gate un signal de 0,4 + 0,4 volt, pour éviter que la sinusoïde ne sorte du tracé.

Donc, pour soulever le côté du Drain à mi-course, on ne devra pas relever entre lui et sa Source une tension de 15 : 2 = 7,5 volts, mais de :

(15 – 1,8) : 2 = 6,6 volts
(voir figure 485)

Comme la valeur de la tension Drain/Source est identique à celle relevée aux bornes de la résistance R2, elle est souvent appelée VR2.

Pour comprendre pourquoi la tension sur le Drain doit être égale à la moitié de celle d'alimentation Vcc, prenez une feuille à petits carreaux et tracez-y une première ligne en bas correspondant à la Source, et une seconde ligne en haut, correspondant à la tension de l'alimentation (voir figure 486).

Si la tension relevée entre le positif de la pile et la Source du FET est de 13,2 volts (voir figure 484), tracez deux lignes sur le papier à petits carreaux, à une distance de 13,2 petits carreaux l'une de l'autre.

Sur la même feuille de papier, tracez une troisième ligne correspondant aux 6,6 volts (voir figure 486), qui devraient correspondre à la valeur de tension présente sur le Drain.

En admettant que le FET amplifie 12 fois un signal, en appliquant sur la Gate un signal sinusoïdal de 1 volt crête à crête, c'est-à-dire composé d'une demi-onde positive de 0,5 volt et d'une demi-onde négative de 0,5 volt (voir figure 486), on obtiendra sur le Drain une sinusoïde qui atteindra une valeur maximale de 12 volts crête à crête, mais dont la polarité sera inversée.

Pour comprendre la raison de cette inversion de polarité de la sinusoïde, il suffit d'observer les dessins des figures 482 et 483. En fait, si l'on pousse la Gate vers le haut, le Drain se baisse, tandis que si on pousse la Gate vers le bas, le Drain se lève.

On retrouvera donc la demi-onde positive de 0,5 volt, 12 fois amplifiée, sur le Drain avec une polarité négative qui atteindra une amplitude maximale de :

0,5 x 12 = 6 volts

Lorsqu'une tension de 6,6 volts est présente sur le Drain (voir figure 486), la demi-onde négative appliquée sur la Gate, prendra une valeur de :

6,6 + 6 = 12,6 volts positifs
par rapport à la masse

Donc, comme vous pouvez le voir sur la figue 486, notre sinusoïde restera à l'intérieur du tracé.

Si on applique sur la Gate, un signal d'amplitude égale à 1,4 volt crête à crête, c'est-à-dire composé d'une demi-onde positive de 0,7 volt et d'une demi-onde négative de 0,7 volt, en amplifiant 12 fois ce signal, on devrait théoriquement prélever sur le Drain un signal de :

0,7 volt x 12 = 8,4 volts négatifs

Etant donné que ces deux tensions sont supérieures aux 6,6 volts présents sur le Drain, le signal amplifié devrait théoriquement être brutalement "coupé" sur les deux extrémités, comme pour le transistor conventionnel. En fait, les FET, corrigeront cet excès de signal en essayant d'arrondir, dans les limites du possible, les deux extrémités (voir figure 487).

Donc, si on amplifie un signal de façon exagérée mais avec un FET, notre oreille ne percevra pas la distorsion qu'elle peut percevoir avec un transistor conventionnel, parce que le signal restera très similaire à une onde sinusoïdale.

Il faut toujours se rappeler que, en raison des tolérances des résistances, on parvient difficilement à obtenir une tension égale à la moitié de l'alimentation entre le Drain et la Source.

Donc, pour éviter que les deux extrémités de la sinusoïde ne subissent plus de déformations, on pourra adopter l'une de ces trois solutions suivantes :

Solution 1 :
On applique sur la Gate des signaux dont l'amplitude est inférieure au maximum acceptable. Donc, plutôt que d'appliquer des signaux de 1 volt crête à crête sur l'entrée, on pourra se limiter à des signaux de 0,8 volt crête à crête, c'est-à-dire à des signaux composés d'une demi-onde positive et d'une demi-onde négative de 0,4 volt.

De cette façon, même si une tension de 8 volts se trouve sur le Drain au lieu d'une tension de 6,6 volts, le signal restera toujours à l'intérieur du tracé, même si la demi-onde positive atteint la limite supérieure maximale (voir figure 488).

En fait, si on amplifie 12 fois la demi-onde négative, on obtient sur le Drain une demi-onde positive, dont la valeur sera de :

0,4 x 12 = 4,8 volts positifs

Si on additionne ces 4,8 volts à la tension des 8 volts présents sur le Drain, on obtiendra :

8 + 4,8 = 12,8 volts positifs
par rapport à la Source

et donc on ne dépasse pas la valeur de la tension d'alimentation qui est de 13,2 volts, comme on le voit sur la figure 488.

Si on amplifie 12 fois la demi-onde positive, on obtiendra sur le Drain une demi-onde négative d'une valeur de :

0,4 x 12 = 4,8 volts négatifs

Si on soustrait ces 4,8 volts à la tension positive présente sur le Drain, on obtiendra :

8 – 4,8 = 3,2 volts positifs
par rapport à la Source

En admettant qu'une tension de 5 volts se trouve sur le Drain (voir figure 489), au lieu d'une tension de 6,6 volts, dans ce cas également le signal restera toujours à l'intérieur de son tracé.

En fait, si on amplifie 12 fois la demi-onde négative, on obtiendra sur le Drain une demi-onde positive dont la valeur sera de :

0,4 x 12 = 4,8 volts positifs

Si on additionne ces 4,8 volts à la tension des 5 volts présents sur le Drain, on obtiendra :

4,8 + 5 = 9,8 volts positifs
par rapport à la Source

Si on amplifie 12 fois la demi-onde positive, on obtiendra sur le Drain une demi-onde négative dont la valeur sera de :

0,4 x 12 = 4,8 volts négatifs

Si on soustrait ces 4,8 volts à la tension positive présente sur le Drain, on obtiendra :

5 – 4,8 = 0,2 volt positif
par rapport à la Source

Donc, le signal restera toujours à l'intérieur du tracé, même si la demi-onde négative atteint une limite de 0,2 volt (voir figure 489).

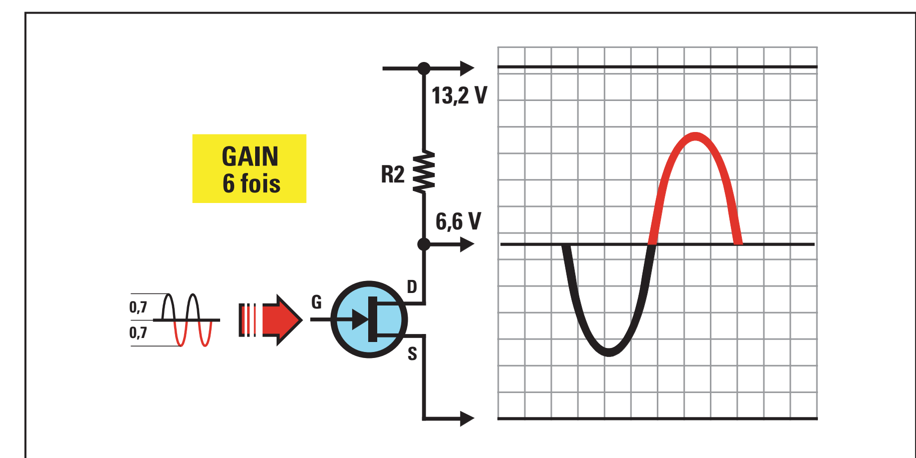


Figure 490 : Si l'amplitude du signal que l'on appliquera sur la Gate ne réussit pas à descendre en dessous des 0,7 + 0,7 volt, pour ne pas courir le risque de "couper" les extrémités des deux demi-ondes, on devra réduire le gain en le faisant passer de 12 à environ 6 fois.

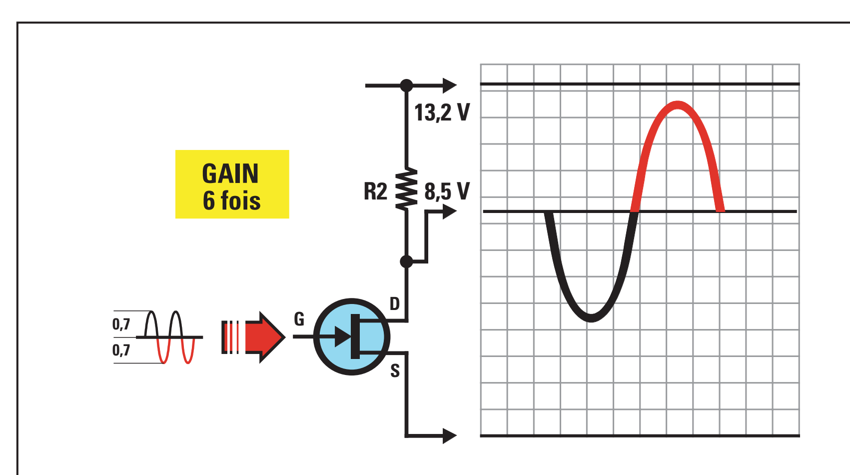


Figure 491 : En amplifiant 6 fois une sinusoïde de 0,7 + 0,7 volt, il ne sera pas nécessaire de tenir compte que la tension présente sur le Drain est de 8,5 et non pas de 6,6 volts, parce que la demi-onde positive ne réussira jamais à dépasser la limite des 13,2 volts.

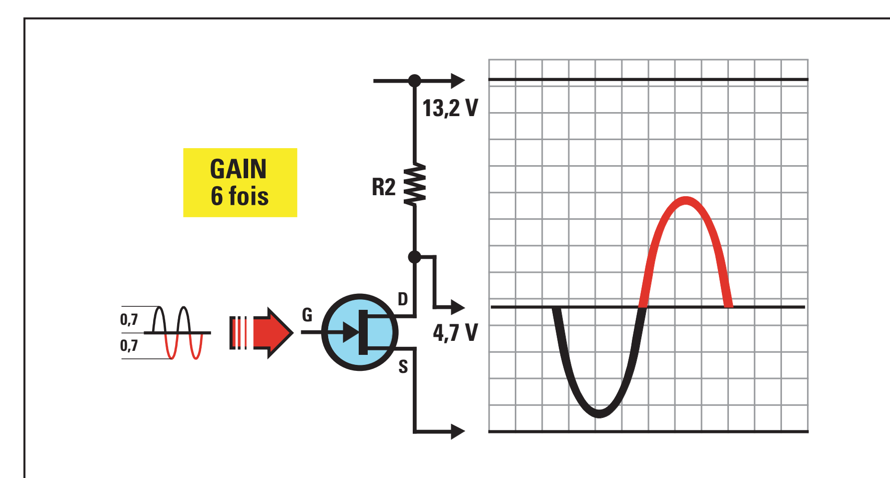


Figure 492 : Si la tension présente sur le Drain était de 4,7 volts en raison de la tolérance des résistances et non pas des 6,6 volts voulus, en choisissant un gain de seulement 6 fois, notre sinusoïde resterait toujours à l'intérieur de son tracé.

Solution 2 :
Si le signal à appliquer sur la Gate ne peut pas descendre en dessous de 1 volt crête à crête, on devra réduire de 12 à 6 fois environ le gain du FET (voir figure 490).

En admettant que le signal sur l'entrée atteigne des pics de 1,4 volt, si on multiplie la valeur des deux demi-ondes de 0,7 volt par 6, on obtiendra :

0,7 volt x 6 = 4,2 volts positifs

0,7 volt x 6 = 4,2 volts négatifs

Donc, même si une tension de 8,5 volts (voir figure 491) se trouve sur le Drain, notre sinusoïde sera toujours à l'intérieur du tracé, car le pic supérieur maximal que peut atteindre la demi-onde positive, sera de :

8,5 + 4,2 = 12,7 volts
par rapport à la Source

et le pic le plus petit que pourra atteindre la demi-onde négative sera de :

8,5 – 4,2 = 4,3 volts
par rapport à la Source

Si une tension de 4,7 volts (voir figure 492) se trouve sur le Drain, même dans ce cas notre sinusoïde restera à l'intérieur du tracé parce que le pic supérieur maximal que pourra atteindre la demi-onde positive, sera de :

4,7 + 4,2 = 8,9 volts
par rapport à la Source

et le pic le plus petit que pourra atteindre la demi-onde négative sera de :

4,7 – 4,2 = 0,5 volt
par rapport à la Source

Solution 3 :
Comme troisième solution, on peut augmenter la tension d'alimentation en la portant de 15 à 20 volts.

En admettant qu'une tension de 2 volts se trouve entre la Source et la masse, on devra soustraire cette tension aux 20 volts d'alimentation.

Ainsi, on retrouvera entre le Drain et la Source, une tension de :

20 – 2 = 18 volts Vcc

Avec une valeur Vcc de 18 volts, on pourra donc tranquillement appliquer un signal de 1,4 volt crête à crête et l'amplifier 10 fois (voir figure 493), sans courir le risque de dépasser la valeur d'alimentation, en fait :

1,4 x 10 = 14 volts

Donc, même si une tension de 10 volts se trouve sur le Drain (voir figure 494) ou bien une tension de 8 volts (voir figure 495), notre sinusoïde sera toujours à l'intérieur du tracé.

à suivre...
◆ G. M.

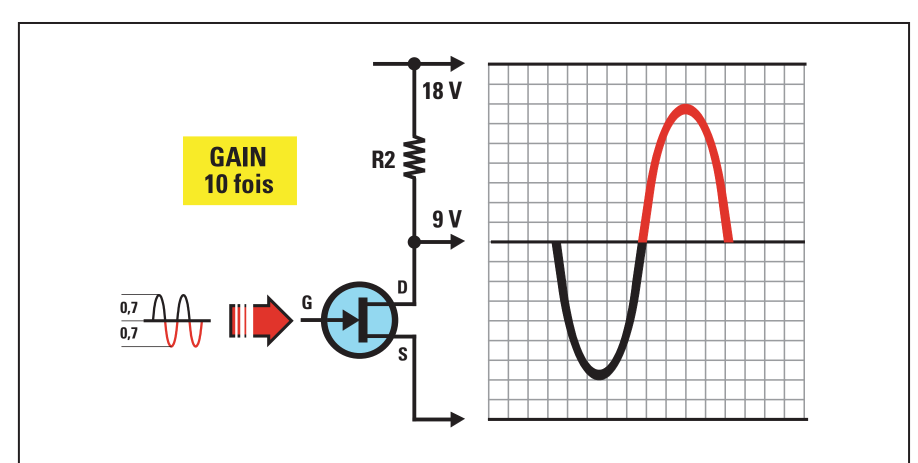


Figure 493 : Si l'amplitude du signal appliqué sur la Gate était élevée, la dernière solution serait d'augmenter la tension d'alimentation de 15 à 20 volts. On soustrait toujours la tension présente entre la Source et la masse aux 20 volts Vcc.

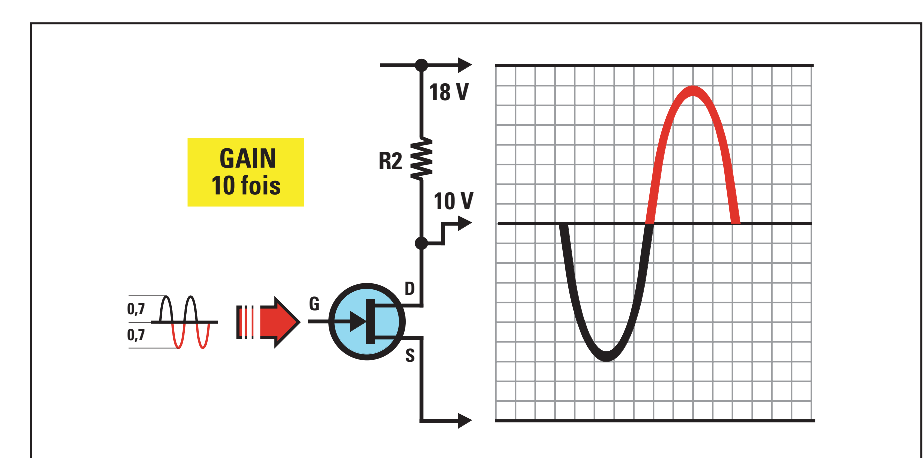


Figure 494 : Si on soustrait les 2 volts présents entre la Source et la masse aux 20 volts, on obtient 18 volts. On devra donc obtenir 9 volts sur le Drain. Même si on trouvait non pas 9 mais 10 volts, le signal amplifié ne réussirait pas à sortir de son tracé.

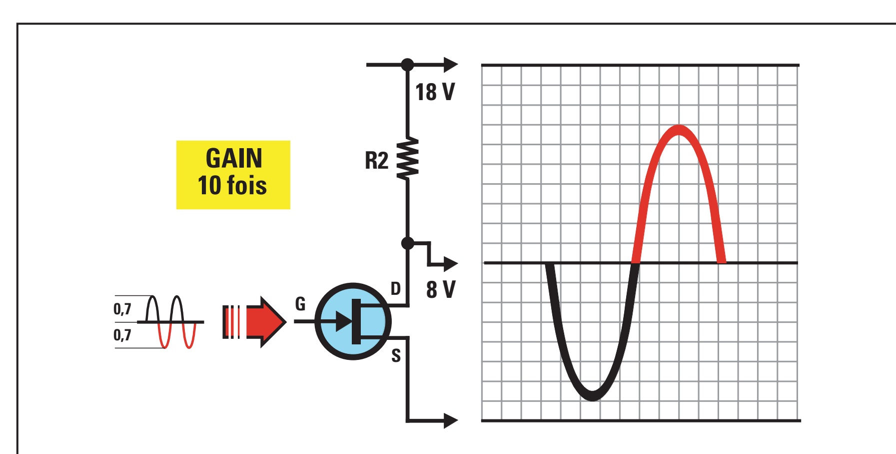


Figure 495 : Si la tension présente sur le Drain du FET était non pas des 9 volts voulus, mais de 8 volts (voir figure 493) en raison de la tolérance des résistances, notre sinusoïde amplifiée ne serait pas coupée ni sur la demi-onde supérieure ni sur celle inférieure.

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Dans la précédente leçon, nous avons commencé à faire connaissance avec les FET, les transistors à effet de champ. Nous poursuivons par les caractéristiques et les formules de calcul pour les étages amplificateurs.

Ces formules, peu nombreuses mais toutefois nécessaires, que nous vous donnons pour pouvoir calculer toutes les valeurs des deux résistances de polarisation, contrairement à celles que vous pourriez trouver dans beaucoup d'autres textes, sont extrêmement simples.

Les caractéristiques d'un FET

Un débutant aura bien du mal à trouver tous les manuels contenant les caractéristiques des FET. Même en admettant qu'il les trouve, il découvrira qu'ils sont écrits en anglais et qu'aucun d'eux n'explique comment procéder pour connaître les valeurs des résistances R2 et R3.

Si on dispose de quelques caractéristiques, il est possible de calculer, avec une bonne approximation, les valeurs des résistances du Drain et de la Source, comme nous vous l'expliquerons maintenant.

Admettons qu'on ne trouve que ces seules caractéristiques, dans un manuel :

Vds = 30 volts maximum
Ids = 25 mA maximum
Vgs/off = 4 volts
Yfs = 6 milliSiemens

Avant de poursuivre, il faut commencer par expliquer ces sigles que vous ne connaissez pas :

Vds : C'est la tension maximale que l'on peut appliquer entre le Drain et la Source.

Ids : C'est le courant maximal que l'on peut faire passer sur le Drain.

Vgs/off : C'est la tension négative maximale à appliquer sur la Gate pour empêcher le FET de fonctionner, c'est-à-dire pour empêcher le passage des électrons entre le Drain et la Source, comme on le voit sur les figures 476 et 477 (robinet fermé). Dans notre exemple, si on applique sur la Gate du FET une tension négative de 4 volts, ce FET ne sera plus conducteur. Pour amplifier un signal, la tension Vgs/off ne devra jamais atteindre cette valeur négative maximale dont il est question dans les manuels.

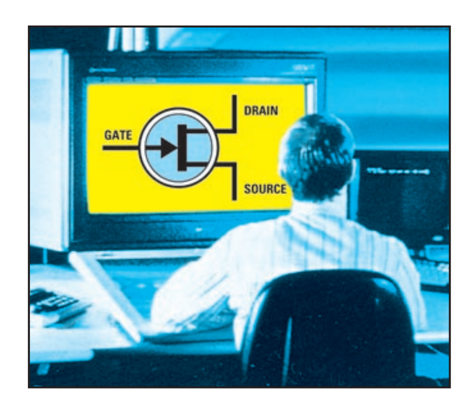
Vgs : C'est la valeur de la tension de polarisation de la Gate. Cette valeur est fournie par un instrument que nous décrirons plus tard.

Yfs : C'est la valeur de la transconductance exprimée en millimho (dont l'abréviation est mmho), équivalents aux milliSiemens (dont l'abréviation est mS). Cette Yfs sert à calculer le gain du FET en connaissant la valeur ohmique des résistances R2 et R3 appliquées sur le Drain et sur la Source.

Les résistances de Drain et de Source

Dans les transistors conventionnels, pour polariser la Base, il fallait calculer la valeur de quatre résistances (voir leçon 15), de façon à obtenir sur le Collecteur une valeur de tension égale à la moitié de celle d'alimentation. Par contre, dans un FET, pour obtenir cette même condition, il faut calculer la valeur de deux résistances seulement, c'est-à-dire R2 appliquée sur le Drain et R3 sur la Source (voir figure 496).

Pour trouver la valeur de ces deux résistances, il faut connaître ces quatre données seulement :



Vcc	**= tension d'alimentation du FET**
VR2	**= tension présente aux extrémités de R2 du Drain**
Ids	**= courant à faire passer dans le FET**
Vgs	**= tension négative sur la Gate**

Note :
Dans beaucoup de manuels, on parle de valeur Vgs alors qu'il s'agit en fait de la valeur Vgs/off, et ceci peut induire en erreur non seulement un débutant, mais également un technicien expérimenté.

Calculer la valeur de la VR2

Si on veut alimenter le FET avec une tension Vcc de 15 volts, on devra avant tout calculer la valeur de la tension VR2, c'est-à-dire celle qui devrait théoriquement être présente aux extrémités de

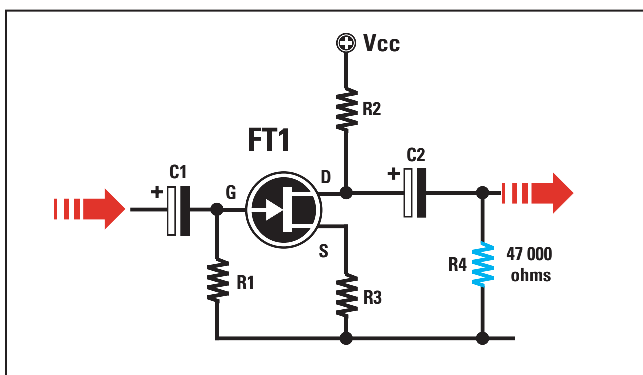


Figure 496 : Pour polariser un FET, il faut calculer la valeur de deux résistances seulement, la R2 placée sur le Drain et la R3 placée sur la Source. Il faut également choisir la valeur de la R2 de 8 à 10 fois inférieure à celle de la résistance R4 placée après le condensateur électrolytique C2.

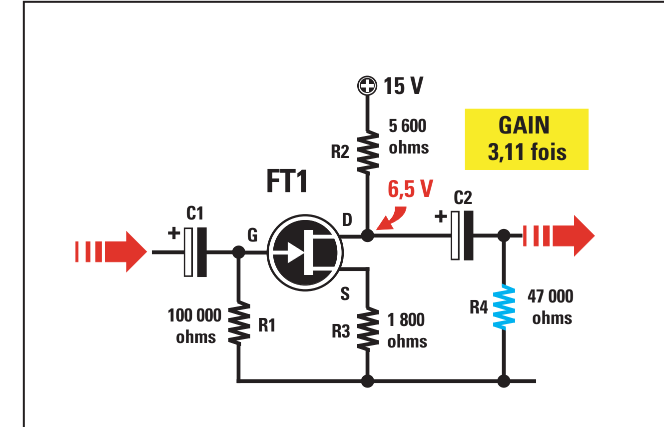


Figure 497 : Si l'on choisit une valeur de 5 600 ohms pour R2 et de 1 800 pour R3, ce FET amplifiera les signaux appliqués sur la Gate d'environ 3,11 fois.

la résistance R2 reliée au Drain, en utilisant la formule :

VR2 = (Vcc – Vgs) : 2

Comme dans beaucoup de manuels ou de fiches techniques, seule la valeur de la tension Vgs/off est indiquée, pour trouver la valeur de la tension Vgs, une solution suffisamment acceptable pourrait être de diviser par 2 la valeur de la tension Vgs/off.

Vgs/off : 2 = Vgs

Si on insère ces données dans la formule indiquée ci-dessus, on obtient :

(15 – 2) : 2 = 6,5 volts
aux bornes de R2.

Donc, si on alimente le FET avec une tension de 15 volts, aux bornes de la résistance R2, on devrait théoriquement obtenir une tension de 6,5 volts.

Nous devons signaler que la valeur de tension que l'on obtiendra aux extrémités de la résistance R2 est identique à la valeur Vds, c'est-à-dire à la tension qu'on pourra mesurer entre le Drain et la Source.

Calculer la valeur de R2 du Drain

Si on connaît la valeur de VR2, on peut calculer la valeur ohmique de la résistance R2, en utilisant la formule :

R2 ohms = (VR2 : Ids) x 1 000

On ne devra jamais choisir la valeur maximale reportée dans les manuels comme Ids, qui, dans notre exemple, serait Ids = 25 mA, mais une valeur considérablement inférieure.

Comme aucun manuel n'indique la valeur Ids de travail, nous conseillons d'utiliser les valeurs suivantes de courant pour tous les FET :

- 4 mA environ, si vous voulez un faible gain ou pour amplifier des signaux dont les amplitudes sont très élevées et dépassent le volt.
- 1 mA environ, si vous voulez un gain important ou pour amplifier des signaux dont les amplitudes sont faibles en millivolts.

Si on veut amplifier des signaux de quelques millivolts, on peut choisir comme valeur de Ids 1 milliampère ; on devra donc utiliser pour R2, une valeur de :

(6,5 : 1) x 1 000 = 6 500 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on sera dans l'obligation d'utiliser pour la R2 une valeur de 5 600 ohms ou bien de 6 800 ohms.

Calculer la valeur de R3 de la Source

Pour calculer la valeur de la résistance R3, on devra utiliser cette formule :

R3 ohms = (Vgs : Ids) x 1 000

Si on donne une valeur de 2 volts à la Vgs, et qu'on sait que le Ids est de

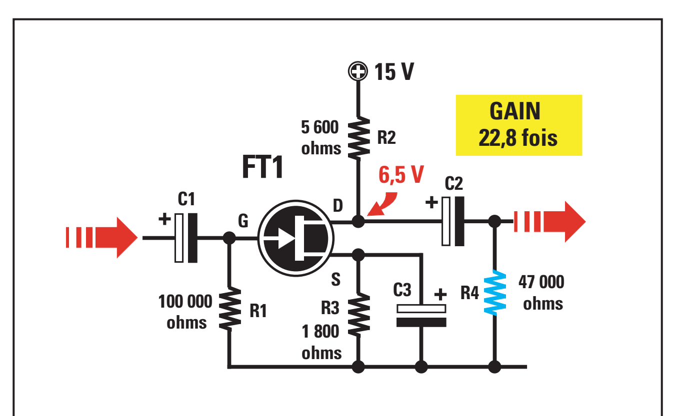


Figure 498 : Si l'on applique un condensateur électrolytique (voir C3 dans le schéma) en parallèle sur la résistance R2, le gain de 3,11 fois montera jusqu'à 22,8 fois.

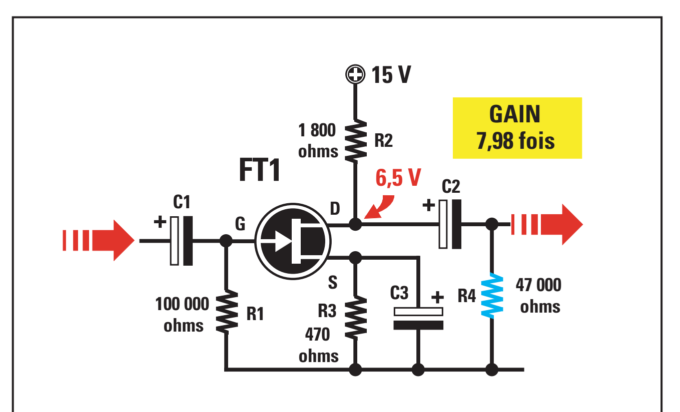


Figure 499 : Pour réaliser un étage capable d'amplifier des signaux d'amplitude élevée, il suffira de réduire la valeur des deux résistances R2 et R3.

1 mA, pour la résistance R3, on devra choisir une valeur de :

(2 : 1) x 1 000 = 2 000 ohms

Etant donné que cette valeur ne fait pas non plus partie des valeurs standard, on sera dans l'obligation d'utiliser pour la R3, une valeur de 1 800 ohms ou bien 2 200 ohms.

La valeur de la résistance R1 de la Gate

La valeur de la résistance R1 à relier entre la Gate et la masse d'un FET n'est absolument pas imposée, on pourra donc tranquillement utiliser n'importe quelle valeur comprise entre 47 000 ohms et 1 mégohm.

- Si on utilise 47 000 ohms, on aura une entrée de cette même valeur d'impédance.
- Si on utilise une valeur de 1 mégohm, on aura une entrée dont la valeur d'impédance sera élevée.
- Normalement, on préfère utiliser pour R1 une valeur moyenne d'environ 100 000 ohms.

Calcul du gain

Si on choisit une valeur de 5 600 ohms pour R2 et de 1 800 pour R3, comme indiqué sur la figure 497, on pourra savoir de combien le FET amplifie, en utilisant la formule :

Gain = R2 : R3

Donc, le FET amplifiera tous les signaux que l'on appliquera sur sa Gate, d'environ :

5 600 : 1 800 = 3,11 fois

Si on applique en parallèle à la résistance R3 un condensateur électrolytique (voir figure 498), pour calculer le gain, on devra utiliser une formule différente, c'est-à-dire :

Gain = [(R2 – R3) x Yfs] : 1 000

Etant donné que les caractéristiques reportées dans notre exemple indiquent que la Yfs est de 6 ms, ce FET amplifiera le signal de :

[(5 600 – 1 800) x 6] : 1 000 = 22,8 fois

Si on choisit pour R2 une valeur de 6 800 ohms et de 2 200 ohms pour R3, on obtiendra un gain de :

[(6 800 – 2 200) x 6] : 1 000 = 27,6 fois

Calcul de la Vgs

Si on connaît la valeur de R3 et celle du courant qui parcourt le FET, on pourra connaître la valeur de la Vgs, en utilisant cette formule :

Vgs = (R3 ohm x Ids) : 1 000

Si on prend pour R3 une valeur de 1 800 ohms et un Ids de 1 mA, on aura une Vgs de :

(1 800 x 1) : 1 000 = 1,8 volt négatif

Note :
Signalons que cette tension négative est identique à la valeur de la tension positive qu'on obtiendra aux extrémités de la résistance R3 de la Source, donc, si on relève aux extrémités de cette résistance une tension positive de 1,8 volt, on peut affirmer que la Gate de ce FET est polarisée avec une tension négative de 1,8 volt.

Calcul pour un gain faible

Si, maintenant, on veut réaliser un étage amplificateur avec un gain faible, on choisira donc pour le Ids, une valeur de 4 mA.

En refaisant tous nos calculs, on obtiendra :

R2 ohms = (VR2 : Ids) x 1 000

Sachant que la VR2 est de 6,5 volts, on obtiendra :

(6,5 : 4) x 1 000 = 1 625 ohms

Etant donné que cette valeur n'est pas standard, on est dans l'obligation d'utiliser pour la R2 une valeur de 1 500 ohms ou de 1 800 ohms.

Pour calculer la valeur de la R3, on utilisera la formule :

R3 ohms = (Vgs : Ids) x 1 000

Si on donne une valeur de 2 volts à la Vgs, et qu'on sait que le Ids est de 4 mA, pour la résistance R3, on devra choisir une valeur de :

(2 : 4) x 1 000 = 500 ohms

Etant donné que cette valeur ne fait pas non plus partie des valeurs standard, pour R3, on pourra utiliser une valeur de 560 ou 470 ohms.

Si, pour R2, on choisit une valeur de 1 800 ohms et de 470 pour R3, et qu'on relie en parallèle à cette résistance un condensateur électrolytique (voir figure 499), on pourra connaître son gain réel :

Gain = [(R2 – R3) x Yfs] : 1 000

En insérant les données dans la formule, on obtient :

[(1 800 – 470) x 6] : 1 000 = 7,98 fois

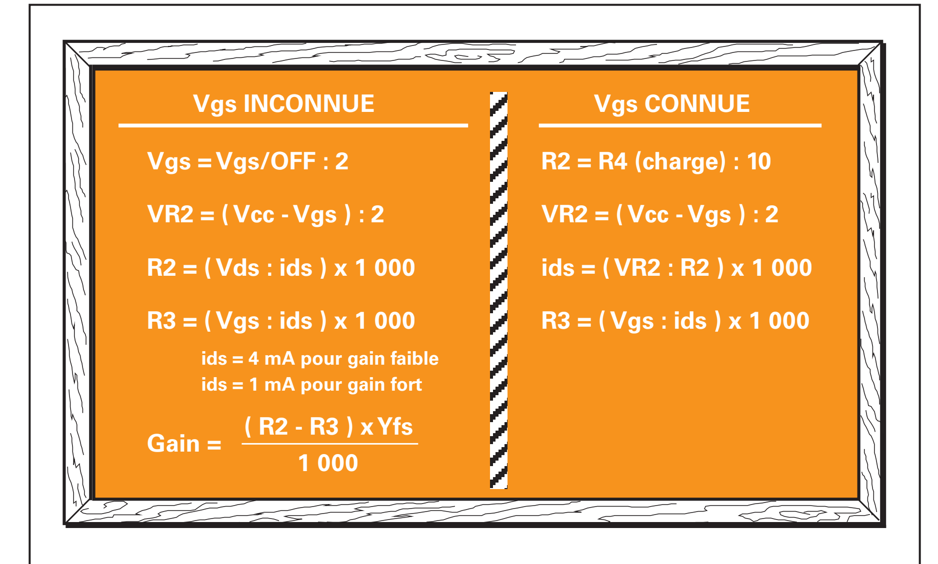


Figure 500 : Ce tableau vous donne les formules à utiliser pour calculer la valeur des deux résistances R2 et R3. Vous utiliserez le côté gauche du tableau si vous ignorez la valeur de la "Vgs" et le côté droit lorsque vous connaissez la valeur de la "Vgs" du FET.



Comme on sait que la valeur de R3 = 470 ohms et que le courant Ids = 4 mA, on pourra calculer la valeur de la Vgs, en utilisant la formule :

Vgs = (R3 ohm x Ids) : 1 000

(470 x 4) : 1 000 = 1,88 volt

Comme nous avons pu le constater, calculer de façon théorique la valeur des deux résistances R2 et R3 n'est pas difficile. Hélas, pour passer à la pratique, un débutant se heurtera à ces trois écueils :

- Il ne parviendra que difficilement à trouver les caractéristiques des FET en sa possession.

- Il ignorera que les FET, comme n'importe quel autre composant électronique, ont des tolérances, donc, en prenant 50 FET de même marque et de même sigle, il trouvera 50 caractéristiques différentes.

- Une fois les valeurs des résistances R2 et R3 calculées, s'il ne disposera que rarement d'un oscilloscope et d'un générateur BF, il ne pourra donc pas contrôler si le FET est correctement polarisé.

Un instrument qui mesure la Vgs

Pour résoudre tous ces problèmes, le débutant, tout comme l'électronicien chevronné" devra réaliser un "Vgs-mètre", qui servira pour relever la valeur de tension exacte à appliquer sur la Gate d'un FET.

Si on connaît la valeur Vgs de n'importe quel FET, on peut alors calculer avec une extrême facilité la valeur des deux résistances R2 et R3, même sans connaître ses autres caractéristiques.

Calcul de la résistance R2 du Drain

Pour calculer la valeur de la résistance R2, on devra connaître la charge qui sera reliée à la sortie du Drain, c'est-à-dire la valeur de la résistance R4 que l'on retrouvera après le condensateur électrolytique de sortie (voir les figures 501 et 502), qui correspond, en fait, à la valeur de la résistance présente sur le second étage amplificateur.

La valeur de la R2 devrait toujours être inférieure de 8 ou 10 fois la valeur de R4. Si la résistance de charge R4 est de 47 000 ohms, pour R2, on pourra choisir une valeur de :

47 000 : 10 = 4 700 ohms

47 000 : 8 = 5 875 ohms

Si la valeur de R4 est de 100 000 ohms, on devra choisir pour R2, une valeur de :

100 000 : 10 = 10 000 ohms

100 000 : 8 = 12 500 ohms

Dans le cas où on ne connaîtrait pas la valeur de R4, on pourrait toujours choisir n'importe quelles valeurs standards, c'est-à-dire 3 300, 3 900, 4 700 ou 5 600 ohms.

Calcul de la VR2

(tension aux bornes de R2)

Si le "Vgs-mètre" indique que notre FET a une Vgs de 1,9 volt, on pourra calculer la valeur de tension qu'on devra retrouver aux bornes de la résistance R2, en utilisant la formule :

VR2 = (Vcc – Vgs) : 2

Si on alimente le FET avec une tension de Vcc de 15 volts, on devra retrouver aux bornes de la résistance R2, cette tension :

(15 – 1,9) : 2 = 6,55 volts

Nous vous rappelons que la valeur VR2 est la tension que l'on retrouvera entre le Drain et la Source.

Calcul du Ids

(courant Drain)

Pour calculer le courant qui devra parcourir le Drain, on devra utiliser la formule :

Ids = (VR2 : R2) x 1 000

Si on sait que la VR2 est de 6,55 volts, et que l'on choisit pour la R2 une valeur standard de 4 700 ohms, le Ids sera égal à :

(6,55 : 4 700) x 1 000 = 1,393 mA

Calcul de la résistance R3 de la Source

Pour calculer la valeur de la résistance R3 à relier à la Source, on utilisera cette formule :

R3 = (Vgs : Ids) x 1 000

Si on insère les données que l'on a déjà calculées dans la formule, on obtiendra :

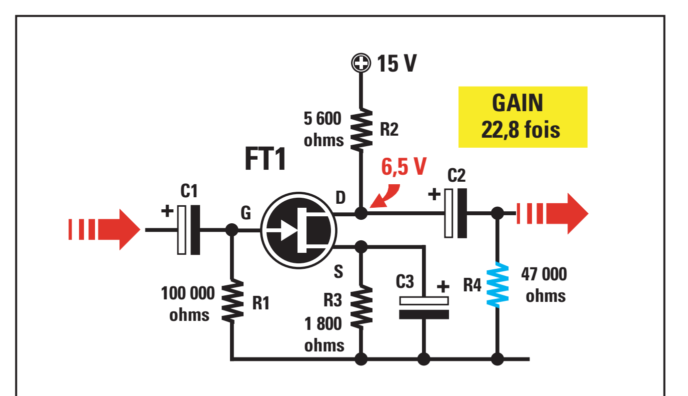


Figure 501 : En connaissant la valeur de la résistance de charge (R4 de 47 000 ohms), on pourra choisir une valeur de 4 700 ou 5 600 ohms pour la R2. Donc, si l'on connaît la valeur de la "Vgs", on pourra calculer la valeur ohmique de R3.

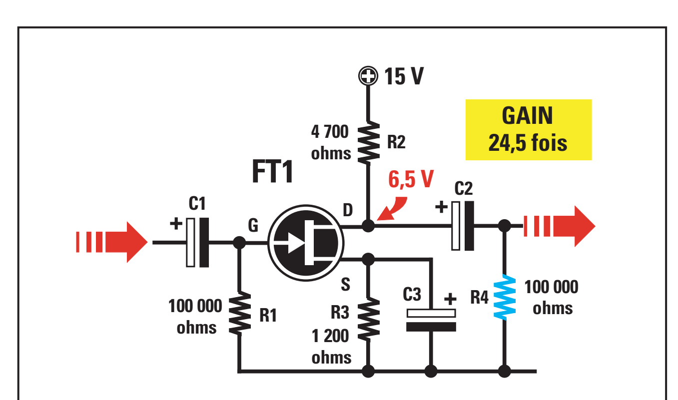


Figure 502 : Si la valeur de la résistance de charge R4 était de 100 000 ohms, on devrait choisir une valeur de 10 000 ou de 12 000 ohms pour R2. Si l'on ne connaît pas la valeur de R4, on pourra choisir des valeurs standards de 4 700 ou 5 600 ohms.

(1,9 : 1,393) x 1 000
= 1 363 ohms

Etant donné que cette valeur ne fait pas partie des valeurs standard, on pourra choisir 1 200 ou 1 500 ohms.

Calcul du gain du FET

Pour le calcul du gain, on doit nécessairement connaître la valeur Yfs du FET mais comme nous ignorons cette donnée, comment peut-on résoudre un tel problème ?

En fait, la Yfs d'un FET peut varier d'un minimum de 5 ms jusqu'à un maximum de 10 ms. Donc, pour calculer son gain d'une façon approximative acceptable, on pourra prendre une valeur moyenne de 7 ms, en tenant toujours compte du fait que le gain pourrait être inférieur si la Yfs était de 5 ms ou supérieur si elle était de 10 ms.

Comme vous le savez déjà probablement, on calcule le gain d'un FET ayant en parallèle à sa résistance R3, un condensateur électrolytique, en utilisant la formule :

Gain = [(R2 – R3) x Yfs] : 1 000

Si on choisit une valeur de 4 700 ohms pour R2 et une valeur de 1 200 ohms pour R3, on obtiendra un gain de plus ou moins :

[(4 700 – 1 200) x 7] : 1 000
= 24,5 fois

Si on avait choisi pour R3 une valeur de 1 500 ohms, on aurait obtenu un gain de :

[(4 700 – 1 500) x 7] : 1 000
= 22,4 fois

Si le FET avait une Yfs de 8,5 au lieu de 7, que nous avons choisie comme valeur moyenne, avec une R3 de 1 200 ohms ou bien de 1 500 ohms, on obtiendrait ces deux différents gains :

[(4 700 – 1 200) x 8,5] :
1 000 = 29,75 fois

[(4 700 – 1 500) x 8,5] :
1 000 = 27,20 fois

Comme vous pouvez le constater, les différences ne sont pas si importantes que ça.

Pour réduire le gain

Si un gain de 27 ou 29 fois devait être trop élevé pour notre étage amplificateur, il nous faudrait alors le réduire en insérant simplement en série avec le condensateur électrolytique (voir figure 503), un trimmer de n'importe quelle valeur comprise entre 10 000 et 47 000 ohms. Après quoi, on pourra régler ce trimmer de façon à obtenir le gain désiré.

Comme vous êtes peu nombreux, à ce stade de votre apprentissage de l'électronique, à disposer d'un oscilloscope, la solution la plus simple pour savoir jusqu'à quel niveau on peut amplifier le signal appliqué sur la Gate d'un FET, c'est de régler le curseur de ce trimmer jusqu'à ce que disparaisse totalement la moindre distorsion du signal dans les enceintes ou dans le casque.

Une fois le trimmer réglé sur la bonne position, on mesurera sa résistance à l'aide d'un ohmmètre, puis on le remplacera par une résistance fixe de valeur approximativement égale.

Note :
Pour éviter des distorsions, il est conseillé de limiter le gain de chaque étage préamplificateur. Si on souhaite obtenir des amplifications importantes, il est conseillé d'utiliser deux étages amplificateurs (voir figure 504) afin d'éviter de couper les deux extrémités de la demi-onde positive ou négative, comme on le voit sur la figure 487.

Donc, si on doit amplifier 25 fois un signal, il est préférable d'utiliser deux étages calculés pour un gain moyen de 5 fois, en fait :

5 x 5 = 25 fois

Si on veut augmenter le gain du premier étage, on pourra relier en parallèle à sa résistance R3, un condensateur électrolytique, comme illustré sur la figure 503.

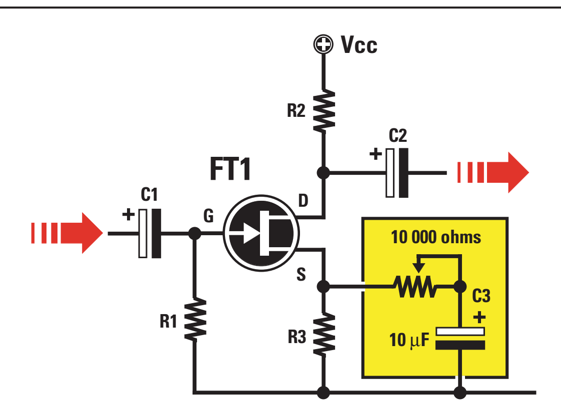


Figure 503 : Pour faire varier le gain d'un étage préamplificateur à FET, on pourra insérer un trimmer de 10 000 ohms en série avec le condensateur électrolytique C3 et le régler jusqu'à obtenir le gain voulu.

Et si la résistance R4 était de 22 000 ohms ?

Comme nous l'avons expliqué, la valeur de la résistance R2 du Drain est très influencée par la valeur de la résistance de charge R4. La valeur de R3 variera également en fonction de cette dernière.

Admettons que la valeur de R4 soit de 22 000 ohms (voir figure 505) et que la Vcc soit de 20 volts au lieu de 15 volts, comme dans l'exemple précédent.

Si le "Vgs-mètre" nous indique toujours une valeur Vgs de 1,9 volt, en refaisant tous nos calculs, on obtiendra les données développées dans les paragraphes suivants.

Calcul de la résistance R2 du Drain

Sachant que la valeur de la R4 est de 22 000 ohms, on devra choisir une valeur pour R2 au moins 8 ou 10 fois inférieure à celle de R4.

22 000 : 10 = 2 200 ohms

22 000 : 8 = 2 750 ohms
(standard 2 700)

Parmi ces deux valeurs de 2 200 et de 2 700 ohms, on choisira la première, c'est-à-dire 2 200.

Calcul de la VR2

(tension aux bornes de R2)

Sachant que la valeur de la Vgs = 1,9 volt et que celle de la Vcc est à présent de 20 volts, on pourra calculer la VR2 en utilisant la formule :

VR2 = (Vcc – Vgs) : 2

Si on insère les données que nous avons obtenues dans la formule, on obtiendra :

(20 – 1,9) : 2
= 9,05 volts VR2

Calcul du Ids
(courant du Drain)

Poursuivons en calculant la valeur du courant qui devra parcourir le Drain, en utilisant la formule :

Ids = (VR2 : R2) x 1 000

Sachant que la VR2 est de 9,05 volts et que la résistance R2 est de 2 200 ohms, on obtiendra un Ids de :

(9,05 : 2 000) x 1 000 = 4,11 mA

Calcul de la résistance R3 de la Source

Pour calculer la valeur de la résistance R3 à relier à la Source, on utilisera cette formule :

R3 = (Vgs : Ids) x 1 000

En insérant les données que nous avons déjà dans la formule, on obtiendra :

(1,9 : 4,11) x 1 000 = 462 ohms

Etant donné que la valeur de 462 ohms ne fait pas partie des valeurs standard, on choisira 470 ohms.

Calcul du gain du FET

En prenant toujours une valeur Yfs moyenne de 7 ms, on calculera le gain avec la formule :

Gain = [(R2 – R3) x Yfs] : 1 000

et donc, le signal appliqué sur la Source sera amplifié de :

[(2 200 – 470) x 7] : 1 000
= 12,11 fois

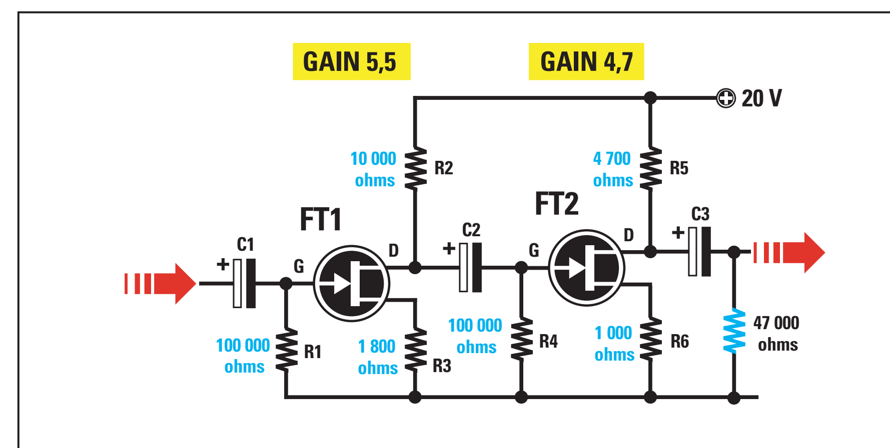


Figure 504 : Si l'on veut obtenir des amplifications élevées, il est préférable d'utiliser deux étages préamplificateurs, puis d'appliquer sur les résistances de Source deux condensateurs électrolytiques, comme sur la figure 503.

Si on souhaite augmenter le gain, on peut utiliser pour R2 une valeur de 2 700 ohms, et pour R3, une valeur de 390 ohms (voir figure 506), obtenant ainsi un gain de :

[(2 700 – 390) x 7] : 1 000
= 16,17 fois

Si on veut réduire le gain, on pourra utiliser une valeur de 1 800 ohms pour R2 et de 560 ohms pour R3, en fait :

[(1 800 – 560) x 7] : 1 000
= 8,68 fois

Signal maximal pouvant être prélevé sur la sortie

Pour calculer le signal maximal que l'on pourra prélever sur le Drain d'un FET sans aucune distorsion, on pourra utiliser cette formule :

Signal maxi = (Vcc – Vgs) x 0,8

Si le FET est alimenté à l'aide d'une tension de 15 volts et la Vgs à l'aide d'une tension de 1,9 volt, on pourra amplifier le signal à appliquer sur la Gate jusqu'à obtenir en sortie un signal sinusoïdal ne dépassant pas les :

(15 – 1,9) x 0,8 = 10,48 volts
crête à crête

Note :
On utilise le facteur multiplicateur 0,8 pour éviter de couper l'onde sinusoïdale sur les deux extrémités, dans le cas où la VR2 serait légèrement inférieure ou supérieure à la valeur nécessaire, en raison de la tolérance des résistances :

VR2 = (Vcc – Vgs) : 2

Si le FET est alimenté à l'aide d'une tension de 20 volts, on pourra amplifier le signal appliqué sur la Gate jusqu'à obtenir en sortie un signal sinusoïdal ne dépassant pas les :

(20 – 1,9) x 0,8 = 14,48 volts
crête à crête

Nous vous rappelons que pour convertir les volts crête à crête en volts efficaces,

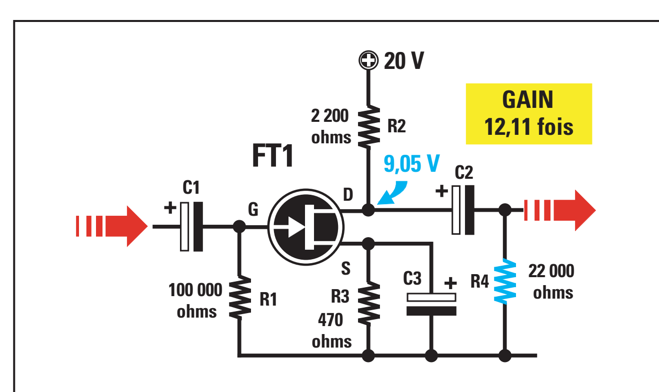


Figure 505 : Avec une valeur de R4 égale à 22 000 ohms, il serait préférable d'utiliser une valeur de 2 200 ohms pour R2 et de 470 ohms pour R3. Avec ces valeurs, on obtiendra un gain de 12,11 fois.

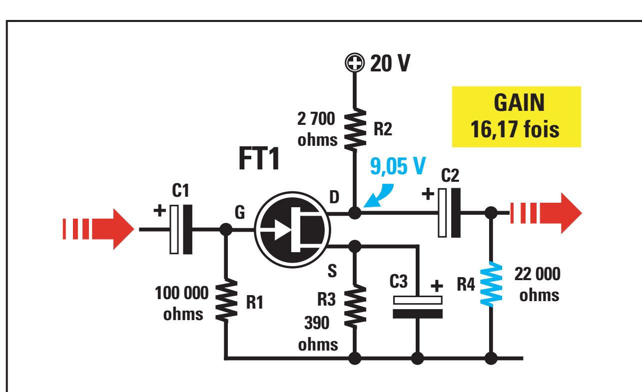


Figure 506 : Pour augmenter le gain du schéma de la figure 505, on pourra utiliser une valeur de 2 700 ohms pour R2 et de 390 ohms pour R3. On obtiendra alors un gain de 16,17 fois.

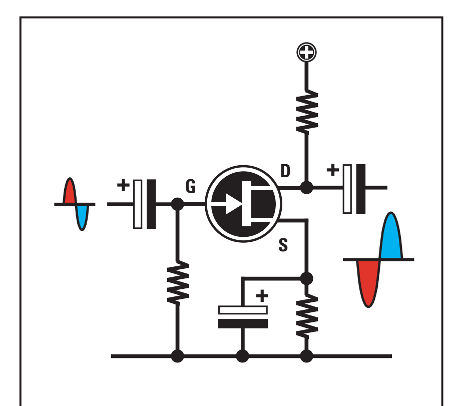


Figure 507 : “Common Source”. Le signal appliqué sur la Gate est récupéré sur le Drain.

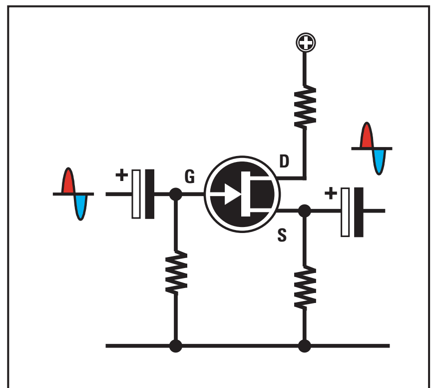


Figure 508 : “Common Drain”. Le signal appliqué sur la Gate est récupéré sur la Source.

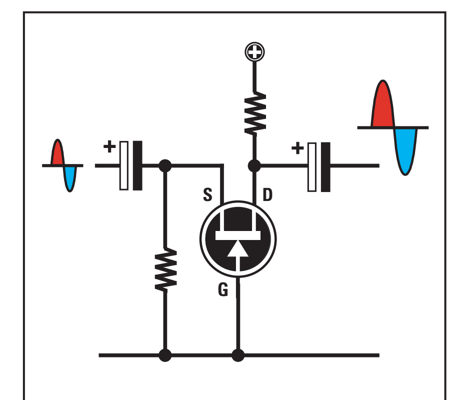


Figure 509 : “Common Gate”. Le signal appliqué sur la Source est récupéré sur le Drain.

on devra les diviser par 2,82. Donc, un signal de 14,48 volts crête à crête correspond à seulement 5,13 volts efficaces.

Signal d’entrée maximal

En connaissant la valeur maximale du signal qu’on pourra prélever sur le Drain et le gain de l’étage préamplificateur, on pourra connaître le signal maximal pouvant être appliqué sur sa Gate, en utilisant la formule :

Signal maxi de Gate = (Vcc : Gain) x 0,8

Si on a un étage qui amplifie 22,8 fois un signal en étant alimenté avec une tension de 15 volts, on pourra appliquer sur son entrée un signal qui ne soit pas supérieur à :

(15 : 22,8) x 0,8 = 0,52 volt
crête à crête

Si ce FET est alimenté par une tension de 20 volts, on ne pourra pas appliquer sur son entrée un signal supérieur à :

(20 : 22,8) x 0,8 = 0,7 volt
crête à crête

Les 3 configurations classiques

Comme pour les transistors, dans les FET également, le signal à amplifier peut être appliqué sur la Source et prélevé sur le Drain, ou bien il peut être appliqué sur la Gate et prélevé sur la Source.

Ces trois différentes façons d’utiliser un FET comme étage amplificateur, sont appelées :

“Common Source” ou Source commune

(voir figure 507)

Dans cette configuration, le signal à amplifier s’applique sur la Gate et se prélève sur le Drain. Avec ce “Common Source”, une petite variation de la tension sur la Gate détermine une grande variation de la tension du Drain.

Le signal amplifié que l’on prélève sur le Drain est déphasé de 180 degrés par rapport à celui appliqué sur la Gate, c’est-à-dire que la demi-onde positive se transforme en demi-onde négative et vice-versa.

“Common Drain” ou Drain commun

(figure 508)

Dans cette configuration, on applique toujours le signal à amplifier sur la Gate, mais on le prélève sur la Source.

Etant donné que cette configuration ne permet pas d’amplifier, elle est généralement utilisée comme étage séparateur pour convertir un signal à haute impédance en signal à basse impédance.

Le signal qu’on prélève sur la Source n’est pas déphasé, c’est-à-dire que la demi-onde positive appliquée sur la Gate reste positive sur la sortie de la Source.

Il en est de même pour la demi-onde négative.

“Common Gate” ou Gate commune

(voir figure 509)

Dans cette configuration, on applique le signal à amplifier sur la Source et on prélève le signal amplifié sur le Drain.

Dans le “Common Gate”, une petite variation de tension sur la Source détermine une variation de tension moyenne sur le Drain.

Le signal qu’on prélève sur le Drain n’est pas déphasé, c’est-à-dire qu’on prélève à nouveau sur le Drain la demi-onde positive et la demi-onde négative qui entrent sur la Source, toujours positive et négative.

Lorsque vous aurez appris comment fonctionne un FET et comment on calcule la valeur des résistances R2 et R3, vous vous rendrez compte que vous avez franchi un nouveau pas dans le merveilleux monde de l’électronique.

Comme vous l’aurez constaté, quelques explications simples, quelques formules mathématiques claires et beaucoup d’exemples pratiques suffisent pour comprendre sans difficulté même les concepts les plus complexes.

	Common Source	Common Drain	Common Gate
Gain en tension	moyen	nul	fort
Gain en courant	moyen	moyen	nul
Gain en puissance	fort	faible	moyen
Impédance d’entrée	moyenne	forte	faible
Impédance de sortie	forte	faible	forte
Inversion de phase	oui	non	non

Tableau 1 : Ce tableau donne les différentes caractéristiques obtenues selon la configuration.

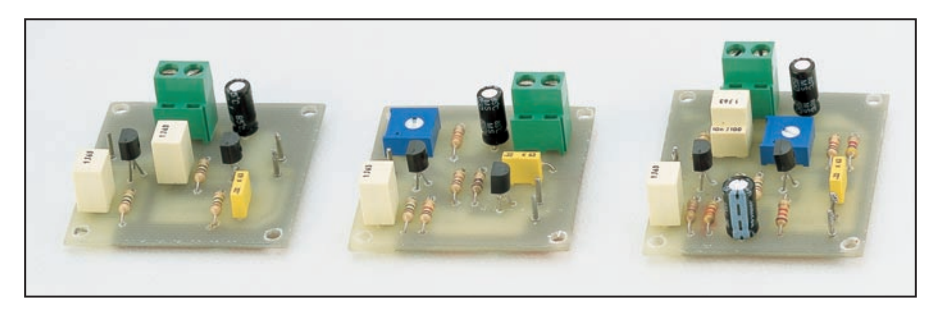
A suivre...
◆ G. M.

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Construction de 3 préamplificateurs BF à FET et réalisation d'un testeur de FET avec mesure de la Vgs

Pour compléter le cours sur les transistors à effet de champ (FET), nous vous proposons trois schémas différents de préamplificateurs BF, que vous pourrez réaliser pour mettre en pratique ce que vous venez d'apprendre.



Préamplificateur micro/amp, le LX.5015

Vous trouverez sur la figure 510a, le schéma électrique d'un préamplificateur appelé micro/amp qui utilise deux FET placés en série.

Ce circuit présente l'avantage d'amplifier 50 fois des signaux très faibles, jusqu'à une fréquence maximale de 2 mégahertz, avec un bruit de fond très faible.

Pour réaliser ce préamplificateur, on peut utiliser n'importe quel type de FET.

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent être résumées ainsi :

Alimentation	**20 volts**
Consommation	**30 milliampères**
Gain total	**50 fois**
Signal maximal d'entrée	**250 millivolts crête à crête**
Signal maximal de sortie	**10 volts crête à crête**
Charge de sortie (R4)	**47 000 ohms**
Bande de fréquence	**20 hertz - 2 mégahertz**
Signal en sortie	**déphasé de 180°**

Même si on a une valeur de tension d'alimentation de 20 volts dans les données techniques, on peut également alimenter ce préamplificateur avec une tension comprise entre 12 et 25 volts. Il faut, toutefois, tenir compte du fait que si on l'alimente avec 12 volts, on ne pourra pas appliquer sur son entrée de signaux d'amplitude supérieure à 180 millivolts. Dans le cas contraire, le signal prélevé en sortie sera distordu.

Comme vous le savez certainement déjà, pour convertir une tension volts en une tension donnée en millivolt, il est nécessaire de la diviser par 1 000. Un signal de 250 millivolts crête à crête correspond à :

250 : 1 000 = 0,25 volt
crête à crête

Dans le schéma électrique de la figure 510a, on a reporté les deux valeurs de tension présentes sur la Gate du FET FT1, ainsi que sur la jonction Drain-Source des deux FET FT1 et FT2. Ces tensions sont mesurées par rapport à la masse.

Vous trouverez sur la figure 510b, le schéma d'implantation qui vous sera utile pour connaître la position dans laquelle devront être insérés tous les composants.

Pour réaliser ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé donné en figure 510c et vous procurer les composants. Vous pourrez également faire l'acquisition du kit de montage LX.5015, dans lequel vous trouverez tous les composants ainsi que le circuit imprimé percé et sérigraphié.

Lorsque vous monterez les transistors FT1 et FT2 sur le circuit imprimé, vous devrez diriger la partie plate de leur corps vers la gauche, comme sur la figure 510b, et lorsque vous monterez le condensateur électrolytique C2, vous devrez insérer la patte du positif (la plus longue) dans le trou indiqué par le symbole "+".

La photo du prototype de la figure 510d vous donnera une idée du montage terminé.

Préamplificateur à gain variable, le LX.5016

Le second schéma que nous vous proposons sur la figure 511a, présente l'avantage d'avoir un gain que l'on peut

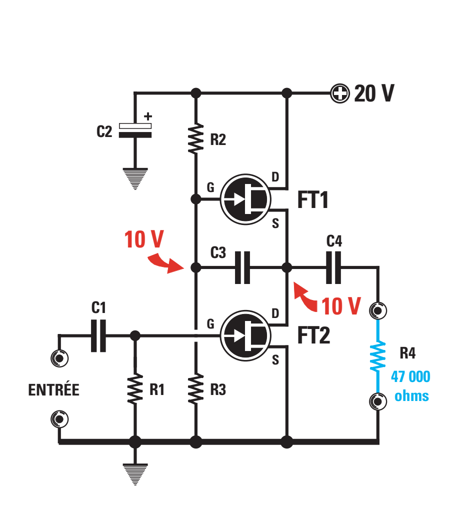
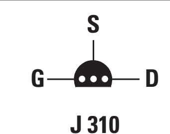


Figure 510a : Schéma électrique du préamplificateur LX.5015 utilisant deux FET reliés en série et qui prend le nom de "micro/amp". Comme il est expliqué dans le texte, cet amplificateur peut être alimenté par d'autres tensions que les 20 volts indiqués dans le schéma, c'est-à-dire qu'il peut être alimenté entre 12 et 24 volts.



Les connexions du FET J310 vues du dessous, c'est-à-dire du côté où les pattes sortent de son corps.

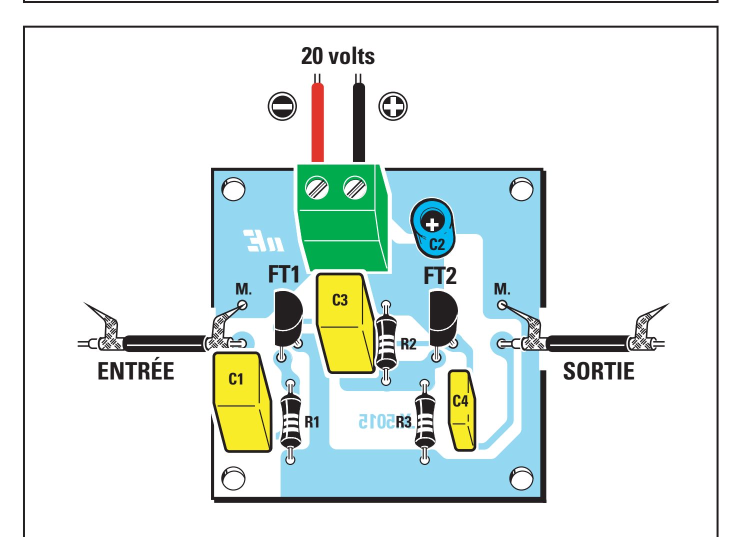


Figure 510b : Schéma d'implantation des composants de l'amplificateur LX.5015.

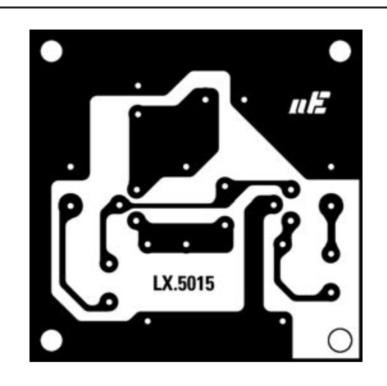


Figure 510c : Dessin du circuit imprimé à l'échelle 1 de l'amplificateur LX.5015.

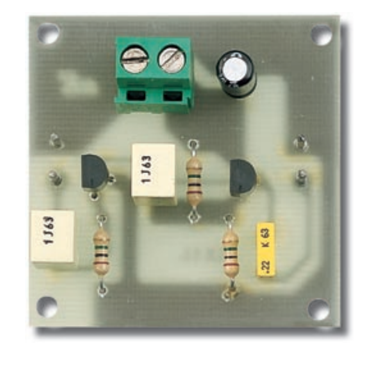


Figure 510d : Photographie du prototype de l'amplificateur LX.5015.

Liste des composants de l'amplificateur LX.5015

R1 = 1 MΩ 1/4 W
R2 = 1 MΩ 1/4 W
R3 = 1 MΩ 1/4 W

C1 = 1 µF polyester
C2 = 22 µF électrolytique
C3 = 1 µF polyester
C4 = 220 nF polyester

FT1 = FET J310
FT2 = FET J310

faire varier de 6 fois minimum jusqu'à environ 40 fois maximum, en réglant tout simplement, le curseur du trimmer R6 de 10 000 ohms. Les tensions données dans ce schéma sont mesurées par rapport à la masse.

En réglant le curseur du trimmer R6 de façon à court-circuiter toute sa résistance, le signal est amplifié 6 fois environ, alors qu'en réglant le curseur de ce trimmer de façon à insérer toute sa résistance, le signal est amplifié environ 40 fois.

Il est bien sûr sous-entendu qu'en réglant le trimmer à mi-course, on obtient un gain intermédiaire.

Bien que ce soit un FET de type J310 dans la liste des composants, pour réaliser ce préamplificateur, on peut utiliser n'importe quel autre type de FET.

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent être résumées ainsi :

Alimentation	20 volts
Consommation	2,5 milliampères
Gain variable	de 6 à 40 fois
Signal maximal d'entrée	300 millivolts crête à crête
Signal maximal de sortie	12 volts crête à crête
Charge de sortie (R10)	47 000 ohms
Bande de fréquence	20 hertz - 2 mégahertz
Signal en sortie	non déphasé

Ce préamplificateur peut lui aussi être alimenté avec une tension comprise entre 12 et 24 volts.

Vous trouverez sur la figure 511b, le schéma d'implantation qui vous sera utile pour connaître la position dans laquelle devront être insérés tous les composants. Pour réaliser ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé donné en figure 511c et vous procurer les composants. Vous pourrez également faire l'acquisition du kit de montage LX.5016, dans lequel vous trouverez tous les composants ainsi que le circuit imprimé percé et sérigraphié.

Lorsque vous monterez les transistors FT1 et FT2 sur le circuit imprimé, vous devrez diriger la partie plate de leur corps vers la gauche, comme sur la

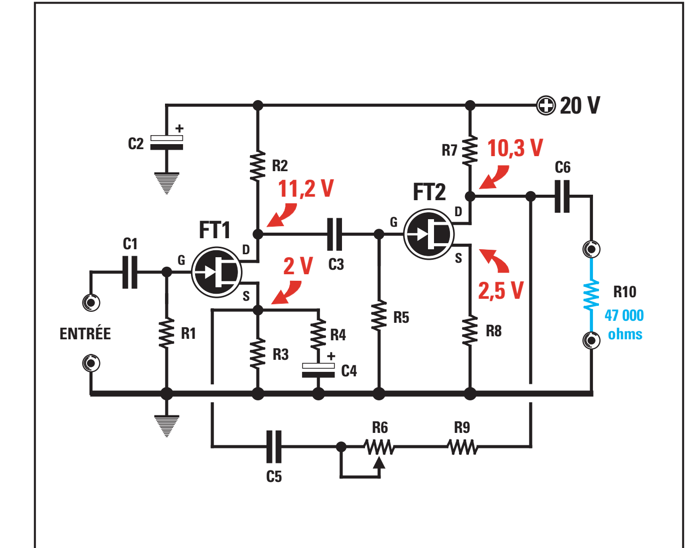


Figure 511a : Schéma électrique du préamplificateur LX.5016 avec gain variable de 6 à 40 fois.

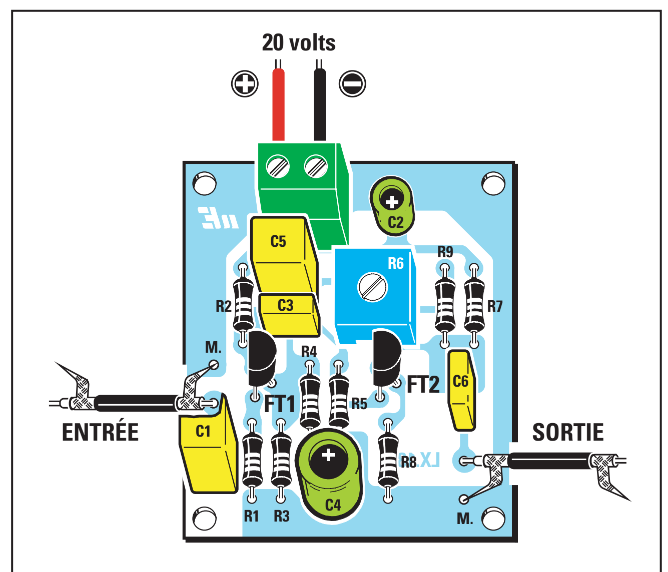


Figure 511b : Schéma d'implantation des composants de l'amplificateur LX.5016.

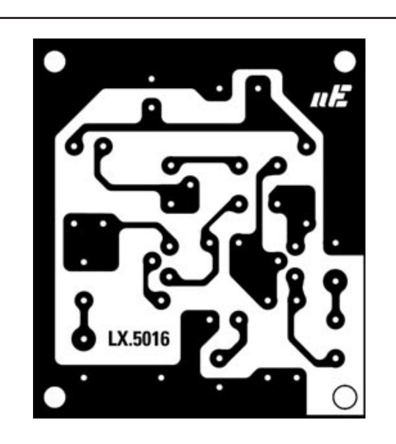


Figure 511c : Dessin du circuit imprimé à l'échelle 1 de l'amplificateur LX.5016.

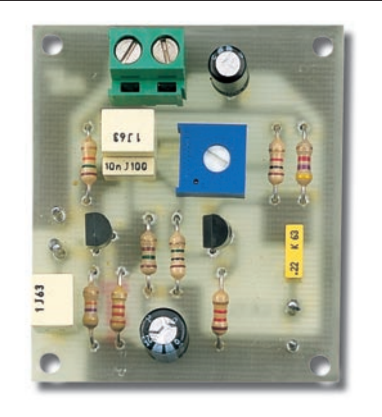


Figure 511d : Photographie du prototype de l'amplificateur LX.5016.

Liste des composants de l'amplificateur LX.5016

R1	=	47 kΩ 1/4 W
R2	=	15 kΩ 1/4 W
R3	=	3,3 kΩ 1/4 W
R4	=	150 Ω 1/4 W
R5	=	1 MΩ 1/4 W
R6	=	10 kΩ trimmer
R7	=	4,7 kΩ 1/4 W
R8	=	1,2 kΩ 1/4 W
R9	=	1 kΩ 1/4 W
C1	=	1 µF polyester
C2	=	22 µF électrolytique
C3	=	10 nF polyester
C4	=	100 µF électrolytique
C5	=	1 µF polyester
C6	=	220 nF polyester
FT1	=	FET J310
FT2	=	FET J310

figure 511b, et lorsque vous monterez les condensateurs électrolytiques, vous devrez insérer la patte du positif (la plus longue) dans le trou indiqué par le symbole “+”.

La photo du prototype de la figure 511d vous donnera une idée du montage terminé.

Préamplificateur avec un FET et un transistor, le LX.5017

Vous trouverez sur la figure 512a, le schéma électrique d'un préamplificateur très particulier, avec un faible gain mais idéal pour amplifier des signaux d'amplitude très élevée. Il utilise un FET ainsi qu'un transistor de type PNP. Les tensions données dans ce schéma sont mesurées par rapport à la masse.

Si ce circuit nous permet d'utiliser n'importe quel type de FET, en ce qui concerne le transistor PNP, on peut utiliser un de ces différents types : BC213, BC308, BC328 ou d'autres équivalents.

Les caractéristiques techniques de ce préamplificateur peuvent être résumées ainsi :

Alimentation	**20 volts**
Consommation	**11 milliampères**
Gain total	**5 fois**
Signal maximal d'entrée	**3,3 volts crête à crête**
Signal maximal de sortie	**18 volts crête à crête**
Charge de sortie (R4)	**47 000 ohms**
Bande de fréquence	**20 Hertz - 1 Mégahertz**
Signal en sortie	**non déphasé**

Ce préamplificateur peut également être alimenté avec une tension comprise entre 15 et 24 volts, en tenant compte du fait que si on l'alimente avec 15 volts, on ne pourra pas appliquer des signaux d'amplitude supérieure à 2,5 volts sur son entrée, car autrement, le signal qu'on prélèvera sur sa sortie sera distordu.

Vous trouverez sur la figure 512b, le schéma d'implantation qui vous sera utile pour connaître la position dans laquelle devront être insérés tous les composants. Pour réaliser ce préamplificateur, vous devrez réaliser le circuit imprimé donné en figure 512c et vous procurer les composants. Vous pourrez également faire l'acquisition du kit de montage LX.5017, dans lequel vous trouverez tous les composants ainsi que le circuit imprimé percé et sérigraphié.

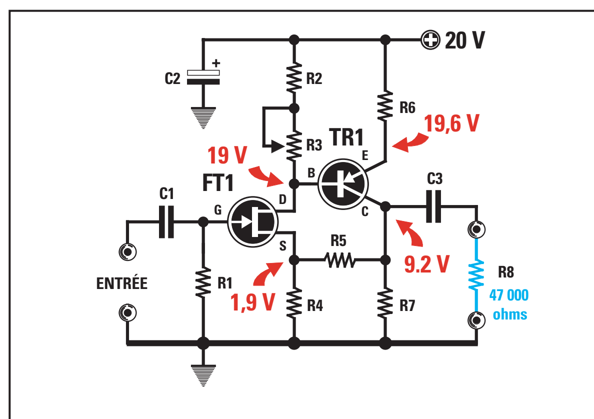
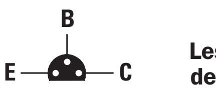


Figure 512a : Schéma électrique du préamplificateur LX.5017 utilisant un FET ainsi qu'un transistor PNP.



Les connexions du transistor PNP de type BC328, vues du dessous.

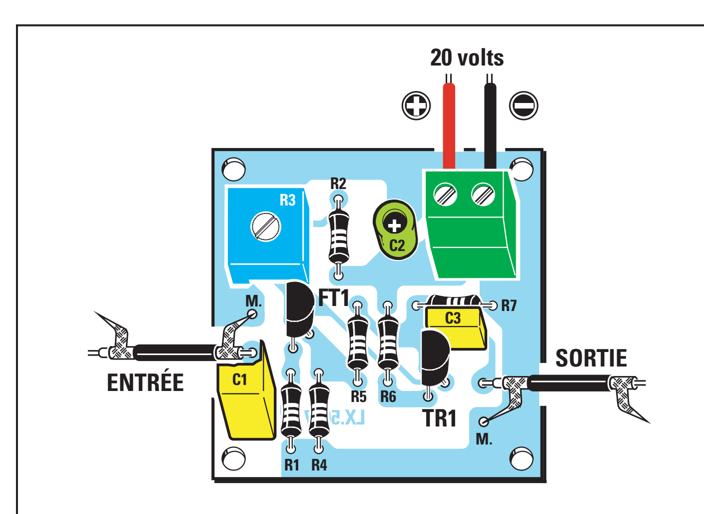


Figure 512b : Schéma d'implantation des composants de l'amplificateur LX.5017.

Liste des composants de l'amplificateur LX.5017

R1	=	1 MΩ 1/4 W
R2	=	330 Ω 1/4 W
R3	=	10 kΩ trimmer
R4	=	1 kΩ 1/4 W
R5	=	10 kΩ 1/4 W
R6	=	100 Ω 1/4 W
R7	=	1 kΩ 1/4 W
C1	=	1 µF polyester
C2	=	22 µF électrolytique
C3	=	220 nF polyester
FT1	=	FET J310
TR1	=	Transistor PNP BC328

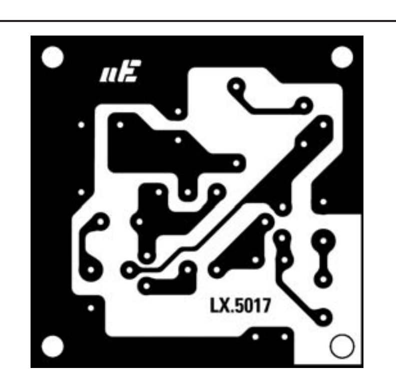


Figure 512c : Dessin du circuit imprimé à l'échelle 1 de l'amplificateur LX.5017.

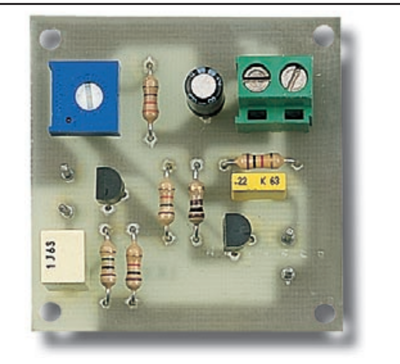


Figure 512d : Photographie du prototype de l'amplificateur LX.5017.

Lorsque vous insérerez le FET dans le circuit imprimé, vous devrez diriger la partie plate de son corps vers la gauche, de même que pour le transistor TR1, reconnaissable à l'un de ces sigles : BC213, BC308 ou BC328.

Important :
Le trimmer TR3, qui se trouve sur le Drain de ce préamplificateur, devra être calibré de façon à pouvoir lire une tension de 9,2 volts entre le Collecteur de TR1 et la masse.

Si on alimente le préamplificateur avec une tension de 24 volts, on devra calibrer ce trimmer de façon à pouvoir lire une tension de 11,2 volts entre le Collecteur et la masse. Si on alimente le préamplificateur avec une tension de 15 volts, on devra calibrer ce trimmer de façon à pouvoir lire une tension de 6,7 volts. Si on ne règle pas ce trimmer sur les valeurs de tension indiquées ci-dessus, le circuit ne fonctionnera pas. Ce calibrage est nécessaire pour pouvoir polariser correctement le transistor TR1.

La photo du prototype figure 512d vous donnera une idée du montage terminé.

Derniers conseils

- Lorsque vous insérez les transistors dans le circuit imprimé, vous les enfoncerez de façon à ce que leurs corps se retrouvent à la distance maximale du circuit imprimé permise par la longueur de leurs pattes.

- Tous les autres composants, c'est-à-dire les résistances et les condensateurs devront, au contraire, être enfoncés de façon à ce que leurs corps s'appuient sur le circuit imprimé, et après avoir soudé leurs pattes sur les pistes, vous pourrez couper l'excédent à l'aide de pinces coupantes.

- Lorsque vous appliquerez la tension d'alimentation de 20 volts sur les plots du bornier à deux pôles, veillez à ne pas inverser le négatif avec le positif, car cette erreur risquerait d'endommager les transistors.

- Les connexions du signal à appliquer sur l'entrée et du signal à prélever sur la sortie devront être effectuées à l'aide de petits câbles blindés, en soudant toujours la gaine de blindage sur la masse (voir la broche M), présente sur le circuit imprimé.

◆ **G. M.**

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 510b pour réaliser le préamplificateur LX.5015, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 50 F. Le circuit imprimé seul : 10 F.

Tous les composants visibles sur la figure 511b pour réaliser le préamplificateur LX.5016, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 60 F. Le circuit imprimé seul : 10 F.

Tous les composants visibles sur la figure 512b pour réaliser le préamplificateur LX.5017, y compris le circuit imprimé percé et sérigraphié : 50 F. Le circuit imprimé seul : 10 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

Un testeur de FET avec mesure de la Vgs le LX.5018

L'instrument que nous vous présentons ici, est un simple mesureur de Vgs, qui non seulement vous permettra de trouver cette donnée indispensable pour pouvoir calculer les valeurs des résistances de Drain et de Source, mais également de vérifier si le FET que vous possédez est efficace, défectueux ou grillé.



Figure 513.

Pour pouvoir calculer la valeur des résistances à utiliser avec un FET, la connaissance de la Vgs est très utile. C'est le but de cet instrument de mesure. Il vous permettra, en outre, de savoir si le FET que vous voulez utiliser est en bon état de fonctionnement.

Schéma électrique

Cet instrument sert à contrôler les FET canal N, c'est-à-dire ceux qui se trouvent normalement montés dans tous les étages préamplificateurs BF et HF. En fait, les FET canal P sont très rares et peu utilisés.

Dans le schéma électrique de ce testeur de FET, qui se trouve sur la figure 514, sont représentés deux symboles graphiques encore inconnus de vous, appelés IC1 et IC2.

Les symboles, reconnaissables à leurs sigles IC1/A, IC1/B, IC1/C et IC1/D, sont quatre portes digitales contenues dans un circuit intégré appelé CD4093 (voir figure 515).

Les symboles, reconnaissables à leurs sigles IC2/A et IC2/B, sont des amplificateurs opérationnels contenus dans un circuit intégré appelé CD1458 (voir figure 515).

Les trois portes IC1/A, IC1/C et IC1/D sont utilisées dans ce circuit afin de réaliser un oscillateur capable de fournir en sortie des ondes carrées à une fréquence d'environ 26 kHz à appliquer, par l'intermédiaire de la résistance R3, sur la Base du transistor TR1.

On trouvera, sur le Collecteur de ce transistor, des impulsions positives capables d'atteindre des crêtes de 24 volts qui, en passant à travers la diode DS1, iront charger le condensateur électrolytique C3.

La quatrième porte digitale, IC1/B, reliée à la broche d'entrée 2 de IC1/A ainsi qu'au condensateur C3, par l'intermédiaire de la diode zener DZ1 et la résistance R4, est utilisée pour maintenir stable la tension de sortie sur la valeur

**Figure 514 : Schéma électrique de l'instrument capable d'indiquer la valeur Vgs exacte d'un FET.
Les symboles graphiques indiqués avec le sigle IC1-A, B, C et D, sont quatre circuits digitaux contenus dans un même circuit intégré, tandis que les autres symboles graphiques, IC2-A et B, sont deux amplificateurs opérationnels également contenus dans un même circuit intégré (voir figure 515).**

de 24 volts, même lorsque la pile, sur le point d'être déchargée, ne débitera plus 9 volts.

Les 24 volts positifs prélevés du condensateur électrolytique C3 sont appliqués sur le Drain du FET à contrôler par l'intermédiaire de la résistance R8 de 22 000 ohms, tandis que les 9 volts positifs fournis par la pile sont directement appliqués sur la Source.

Si on mesure, à l'aide d'un multimètre, la tension présente entre le Drain et la Source du FET, on ne lira pas 24 volts, mais une tension de seulement 15 volts, car on devra soustraire les 9 volts présents sur la Source aux 24 volts présents sur le Drain.

Pour polariser la Gate du FET de façon à ce que la tension présente entre le Drain et la Source descende exactement à la moitié de la tension d'alimentation, c'est-à-dire à :

(24 – 9) : 2 = 7,5 volts

on utilise le circuit intégré opérationnel IC2/A.

Comme vous ne savez pas encore comment fonctionne un circuit intégré opérationnel, signalons brièvement la fonction assurée par IC2/A dans ce circuit.

Comme vous pouvez le remarquer, sur la broche d'entrée 2, indiquée par le signe négatif, on applique une tension de 7,5 volts qu'on prélèvera à la jonction des deux résistances, R6 et R7.

Par contre, on applique la tension présente sur le Drain du FET sur la seconde broche d'entrée, la 3, indiquée par le signe positif.

Lorsque la tension présente sur le Drain du FET est supérieure à 7,5, cet amplificateur opérationnel IC2/A permet d'appliquer sur la Gate du FET une tension négative qui, partant d'une valeur de 9 volts, commence à descendre jusqu'à ce que la tension présente sur le Drain ne soit plus que d'exactement 7,5 volts.

Dès qu'une tension parfaitement identique à celle disponible sur la broche 2, c'est-à-dire une tension de 7,5 volts, se trouve sur la broche 3 de IC2/A, l'opérationnel maintient stable la valeur de la tension négative appliquée sur la Gate du FET.

La valeur de cette tension négative correspond à la Vgs nécessaire au FET que nous examinons pour faire descendre la tension sur le Drain exactement de la valeur de 15 à 7,5 volts.

A présent, on pourrait penser qu'il suffit, pour connaître cette valeur Vgs, d'appliquer entre la Gate et la Source, les pointes de touche de n'importe quel multimètre, réglé sur "Volt CC".

Mais, si on connecte les pointes de touche d'un multimètre sur ces deux broches, on modifiera la valeur de la tension à cause de la basse résistance interne du multimètre, et on lira donc une valeur erronée.

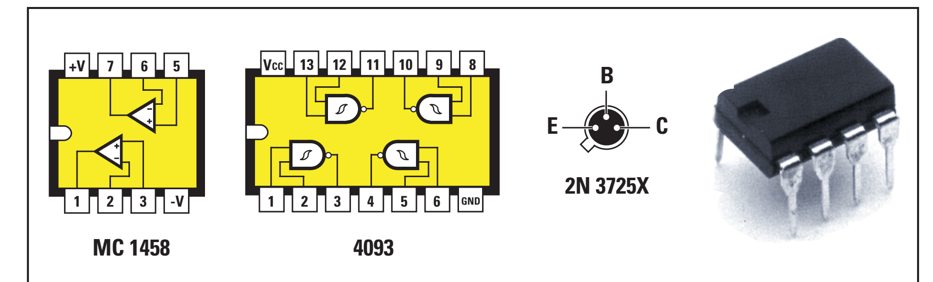


Figure 515 : Connexions vues du dessus des deux circuits intégrés, MC1458 et CD4093, ainsi que celles du transistor 2N3725X, vues du dessous. Remarquez l'encoche-détrompeur en forme de U sur le côté gauche des deux circuits intégrés, ainsi que le petit ergot métallique du transistor.

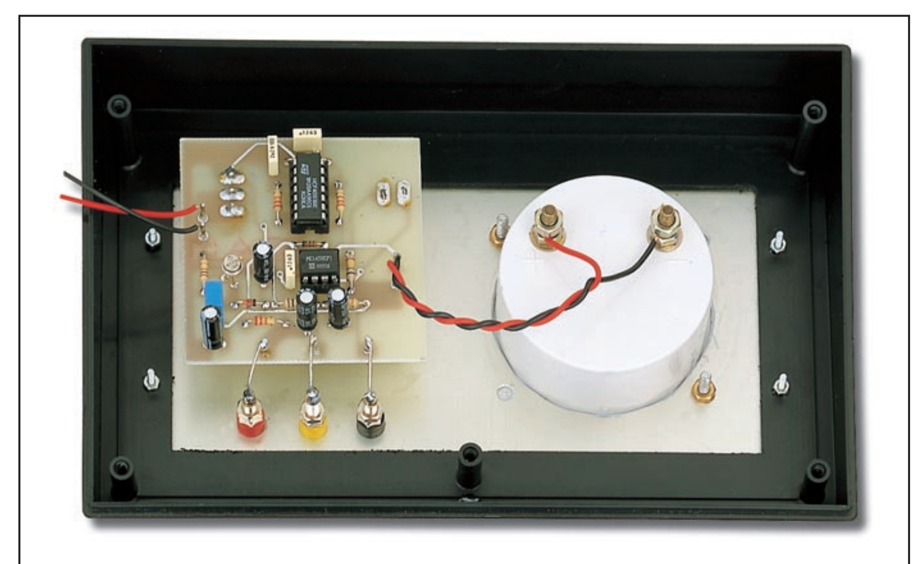


Figure 516 : Le circuit imprimé sera directement fixé sur la face avant du boîtier par l'intermédiaire des écrous du poussoir P1 et de l'interrupteur S1 (voir figure 522). On placera, sur le côté droit du panneau, le voltmètre de 5 volts à fond d'échelle.

Pour éviter cette erreur, on doit nécessairement utiliser un second opérationnel (voir IC2/B), comme simple étage séparateur. Comme cet opérationnel ne modifie pas la tension négative présente sur la Gate, on peut relier n'importe quel type de voltmètre ou de multimètre sur sa sortie.

Si une tension négative de 1,9 volt se trouve sur la Gate du FET, on lira cette même tension sur le voltmètre relié entre la broche de sortie 7 et la Source.

En connaissant la valeur Vgs exacte du FET que nous examinons, on peut calculer la valeur ohmique des deux résistances à relier au Drain et à la Source du FET, comme nous l'avons expliqué dans les leçons précédentes.

Réalisation pratique

Vous trouverez, dans le kit de montage LX.5018, le boîtier percé et sérigraphié, tous les composants ainsi que le circuit imprimé double face à trous métallisés percé et sérigraphié nécessaires à la réalisation de cet instrument qui vous servira pour mesurer la Vgs de n'importe quel FET. Vous pouvez également, reproduire le circuit imprimé double face de la figure 518 et vous procurer les composants et un boîtier. Dans ce cas, n'oubliez pas les connexions indispensables entre les

Figure 517 : Schéma d'implantation des composants du "Vgs-mètre". Lorsque vous monterez le circuit, placez la bague noire de la diode DS1, l'encoche-détrompeur en forme de U des circuits intégrés ainsi que l'ergot du transistor TR1, comme sur ce dessin. Faites également attention à la polarité positive et négative des deux fils de la prise pile, ainsi que de ceux à relier au voltmètre.

Liste des composants du LX.5018

R1	=	22 kΩ 1/4 W
R2	=	18 kΩ 1/4 W
R3	=	1 kΩ 1/4 W
R4	=	2,2 kΩ 1/4 W
R5	=	680 kΩ 1/4 W
R6	=	15 kΩ 1/4 W
R7	=	15 kΩ 1/4 W
R8	=	22 kΩ 1/4 W
C1	=	2,2 nF polyester
C2	=	100 nF polyester
C3	=	47 µF électrolytique
C4	=	47 µF électrolytique
C5	=	10 µF électrolytique
C6	=	22 µF électrolytique
C7	=	100 nF polyester
DS1	=	Diode 1N4150
DZ1	=	Zener 22 V 1/2 W
JAF1	=	Self 1 mH
TR1	=	Transistor NPN 2N3725X
IC1	=	CMOS 4093
IC2	=	Intégré MC1458
S1	=	Interrupteur
P1	=	Poussoir
V1	=	Galvanomètre 5 V

deux faces. Vous devrez également monter directement les circuits intégrés, sans support, afin que leurs broches, soudées des deux côtés, assurent les liaisons nécessaires.

Si vous faites le choix du kit, vous pourrez monter les deux supports des circuits intégrés IC1 et IC2. Une fois toutes leurs broches soudées sur les pistes en cuivre, vous pouvez poursuivre le montage en insérant les quelques résistances ainsi que les condensateurs polyester.

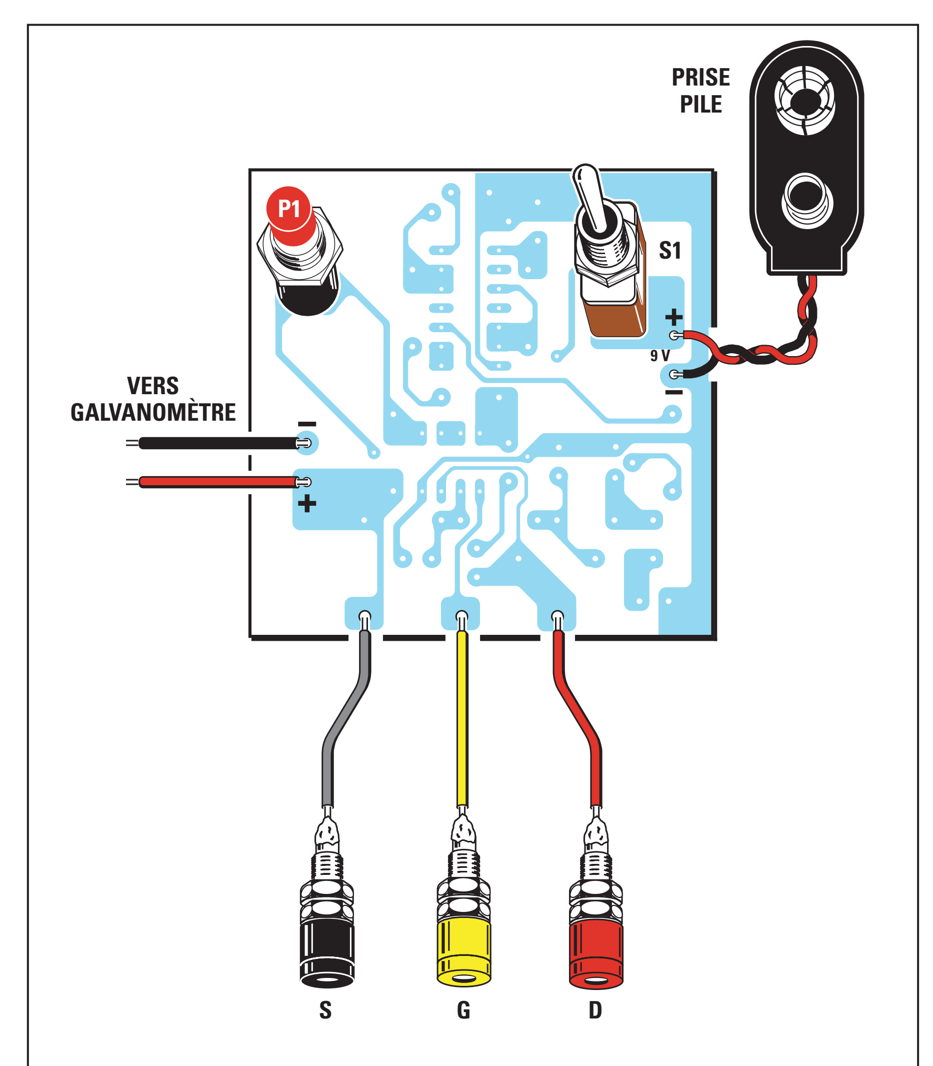


Figure 518 : Vous devez fixer, sur le côté opposé du circuit imprimé, à gauche, le poussoir P1, et à droite, l'interrupteur de mise sous tension S1. La couleur des douilles est sans importance pourvue qu'elle soit différente pour chacune d'elles.

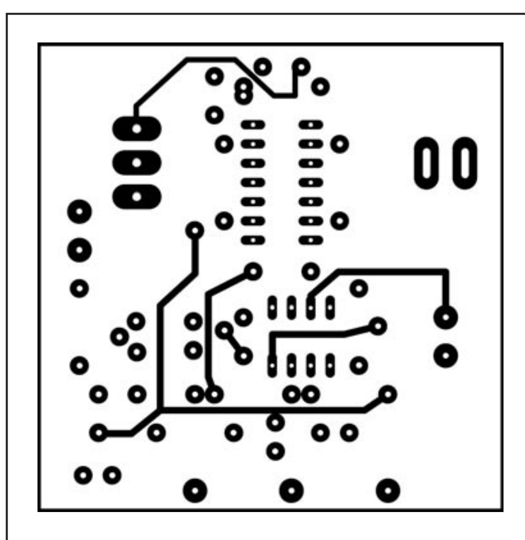
sur DS1, vous trouverez l'inscription 1N4150,
sur DZ1, vous trouverez l'inscription ZPD22 ou ZY22.

Poursuivez le montage en insérant la petite self JAF1, dont le corps de couleur bleue porte l'inscription 1K, puis les trois condensateurs électrolytiques,

Une fois cette opération terminée, insérez la diode au silicium DS1 près de la résistance R6, en dirigeant la bague noire sur son corps vers la résistance, comme sur la figure 517.

Placez la diode zener DZ1 entre les deux supports des circuits intégrés IC1 et IC2, en dirigeant sa bague vers la gauche.

Si vous avez des difficultés à distinguer la diode au silicium DS1 de la diode zener DZ1, vous pouvez tenter de lire les inscriptions qui se trouvent sur leur corps, une loupe sera d'une aide précieuse :



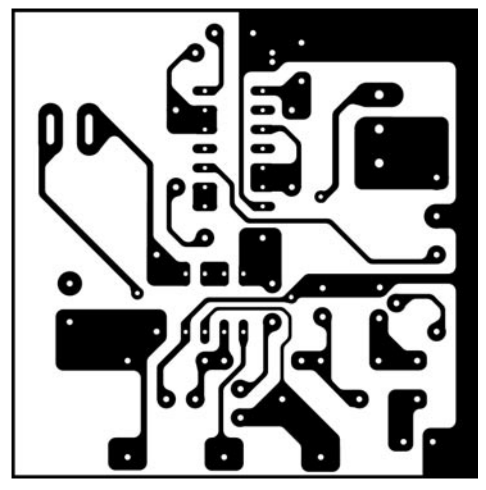


Figure 519 : Dessin des deux faces à l'échelle 1 du circuit imprimé du “Vgs-mètre”. Attention, si vous réalisez vous-même ce circuit, les trous ne seront évidemment pas métallisés. De ce fait, chaque pastille du circuit côté P1 et S1 ayant une correspondance avec une pastille du circuit côté composants doit être soudée des deux côtés. Ceci interdit l'utilisation de supports pour les circuits intégrés. Attention, donc, au sens de montage !

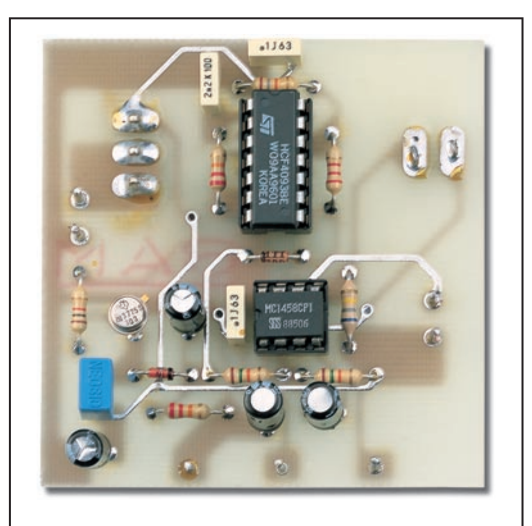


Figure 520a : Une fois tous les composants insérés et soudés sur le circuit imprimé, le montage se présentera comme sur cette photo du prototype.

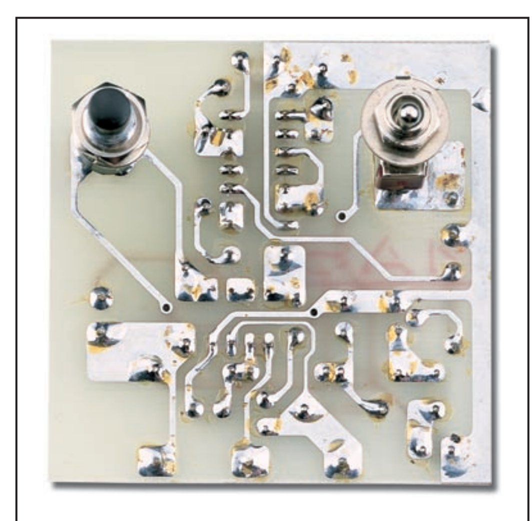


Figure 520b : Le même circuit imprimé, vu du côté des soudures. Remarquez P1 et S1.

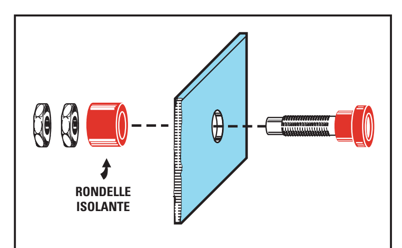


Figure 521 : Avant de fixer les trois douilles D, G et S, sur le panneau avant du boîtier, vous devrez d'abord retirer les deux écrous et la rondelle isolante de plastique, insérer ensuite le corps de la douille dans le panneau puis remonter par derrière le panneau la rondelle isolante et les deux écrous.

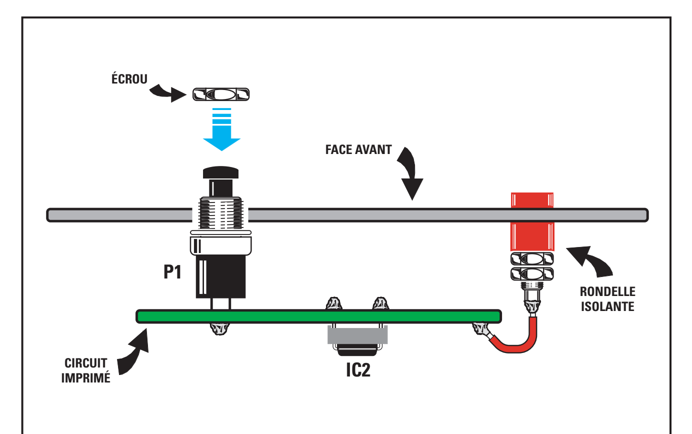


Figure 522 : Le circuit imprimé sera maintenu sur la face avant de l'appareil à l'aide des écrous du poussoir P1 et de l'interrupteur S1.

en respectant la polarité +/– de leurs deux pattes.

Comme vous le remarquerez, sur le circuit imprimé, à côté du trou dans lequel vous devez insérer la broche du positif, se trouve un signe "+".

Lorsque vous insérez le transistor métallique TR1, vous ne devez pas l'enfoncer complètement dans le circuit imprimé, mais vous devez le maintenir surélevé de toute la longueur de ses pattes, en dirigeant le petit ergot-détrompeur comme indiqué sur la figure 517.

Les derniers composants à insérer sur le circuit imprimé sont le bouton P1 et l'interrupteur S1.

Après avoir monté tous les composants, vous pouvez insérer le circuit intégré IC1 (CD4093) dans le grand support, en dirigeant l'encoche-détrompeur en forme de U vers la résistance R2 et le circuit intégré (CA1458) dans le support le plus petit, en dirigeant l'encoche-détrompeur, toujours en forme de U, vers la gauche, c'est-à-dire vers le condensateur C7.

Avant de fixer le circuit imprimé sur le panneau du boîtier (voir figure 516), vous devez souder les deux fils qui seront reliés à l'instrument, puis les trois fils qui seront reliés aux douilles D, G et S ainsi que les deux fils de la prise pile, en tenant compte du fait que le fil rouge sera soudé sur la piste marquée du signe "+", et le fil noir, sur la piste marquée du signe "–".

Avant d'insérer les trois douilles D, G et S, dans le panneau du boîtier, vous devez d'abord retirer les deux écrous ainsi que la rondelle en plastique. Après avoir inséré le corps de la douille dans le panneau, vous devez insérer à nouveau la rondelle isolante et fixer le tout à l'aide des écrous (voir figure 522).

Comment utiliser l'instrument

Pour tester un FET, il est indispensable de connaître la disposition des trois pattes D, G et S, ce qui ne devrait poser aucun problème car, dans tous les schémas électriques où on trouve un FET, la disposition de ses trois pattes est toujours vue du dessous, c'est-à-dire du côté d'où elles sortent.

Une fois les trois pattes D, G et S identifiées, vous devez les relier aux broches correspondantes et, une fois l'instrument allumé, vous devez simplement appuyer sur le bouton P1 puis lire sur l'instrument la valeur de la tension Vgs.

- Si le FET est en court-circuit, l'aiguille de l'instrument déviera complètement à fond d'échelle.

- Si le FET est entièrement ouvert, l'aiguille restera immobile sur le 0, ou bien déviera légèrement vers la gauche.

Signalons que si on inverse les trois pattes D-G-S, l'instrument pourra indiquer de façon erronée que le FET est court-circuité ou grillé, selon les pattes que vous aurez inversées.

◆ **G. M.**

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 517 pour réaliser le "Vgs-mètre", y compris le circuit imprimé double face à trous métallisés et le boîtier, tous deux percés et sérigraphiés : 340 F. Le circuit imprimé seul : 28 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Pour vous faire comprendre le fonctionnement des thyristors et des triacs utilisés dans différents circuits électroniques, nous avons imaginé les comparer à des relais, c'est-à-dire à les considérer comme s'ils étaient composés d'une bobine d'excitation et de deux contacts mécaniques utilisés comme interrupteurs.

Bien entendu, ceci n'est qu'une vue destinée à faciliter la compréhension. Aucune bobine ni aucun contact mécanique ne se trouvent réellement à l'intérieur de ces composants !

Si aucune tension n'est appliquée aux extrémités de la bobine, ses contacts restent ouverts et, par conséquent, l'ampoule reste éteinte puisque la tension d'alimentation nécessaire ne l'atteint pas (voir figure 523).

Si on applique une tension aux extrémités de la bobine, le relais sera excité, il fermera automatiquement ses contacts et l'ampoule s'allumera (voir figure 524).

A la différence des relais, qui sont toujours très lents à ouvrir et à fermer leurs contacts, les thyristors et les triacs, par contre, sont très rapides car ils n'ont pas de parties mécaniques en mouvement. C'est la raison pour laquelle ils sont très utilisés dans tous les appareils électroniques dans lesquels il faut commuter très vite des tensions et des courants.

Dans cette leçon, nous aborderons les thyristors (SCR) et les triacs. Nous vous expliquerons les caractéristiques qui les différencient ainsi que leur comportement en présence d'une tension continue ou d'une tension alternative sur l'anode et sur la gâchette.

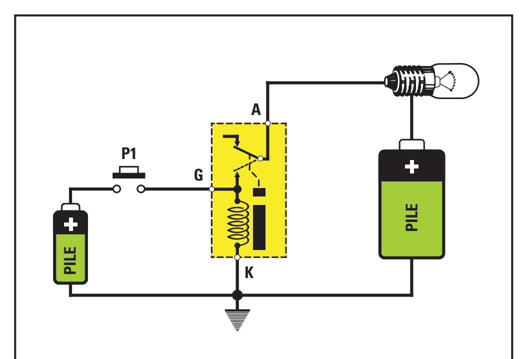


Figure 523 : Tout le monde sait qu'un relais est composé d'une bobine d'excitation et de deux contacts. Ces derniers ne se ferment que si l'on applique une tension suffisante aux bornes de la bobine.

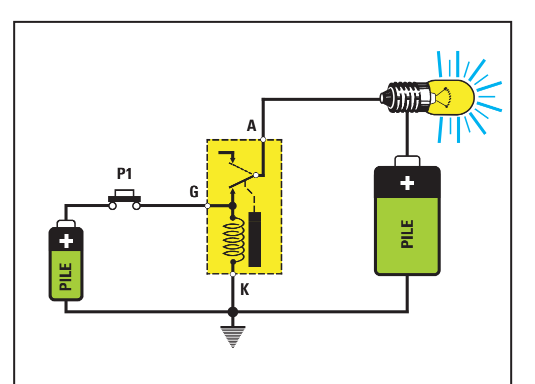


Figure 524 : L'ampoule, reliée à la broche A, s'allume dès que l'on appuie sur le poussoir P1. Si on laisse le poussoir enfoncé, l'ampoule reste allumée parce que la tension qui se trouve sur la broche A passe par la bobine.

Le thyristor

Le thyristor, ou diode SCR (Silicon Controlled Rectifier - redresseur au silicium commandé - thyristor triode à blocage inverse), est représenté dans les schémas électriques à l'aide du symbole graphique visible sur la figure 527, c'est-à-dire un cercle à l'intérieur duquel se trouve une diode de redressement munie d'une troisième patte appelée "gâchette".

En fait, les thyristors peuvent avoir les mêmes dimensions et la même forme qu'un transistor de puissance ordinaire (voir figure 527). D'autres formes existent également, comme vous pouvez le voir sur la figure 541.

Les lettres qui figurent sur les trois broches sortant du cercle indiquent :

A = anode (à relier à la charge)
K = cathode (à relier à la masse)
G = Gâchette (excitation)

Sur la figure 525, en série dans les circuits de la gâchette et de l'anode, nous avons dessiné une diode de redressement pour vous faire comprendre que seules les tensions de polarité positive peuvent passer à travers ces broches (voir figure 526).

On applique toujours l'ampoule ou le moteur que l'on veut alimenter sur l'anode. La cathode, par contre, est reliée à la masse.

On applique toujours une tension ou une impulsion de polarité positive sur la gâchette pour pouvoir l'exciter.



Dès que le thyristor est excité, à l'intérieur, l'anode et la cathode sont court-circuitées, et dans l'hypothèse où une ampoule est reliée à son anode, elle s'allume.

Sur le corps de chaque thyristor, on peut généralement lire ses références. Grâce aux caractéristiques fournies par le constructeur, on peut savoir quelle tension et quel courant maximum il peut accepter, c'est-à-dire savoir si le thyristor peut être alimenté avec une tension de 200, 600 ou 800 volts et savoir s'il peut être capable d'alimenter des circuits qui consomment des courants de 5, 8 ou 10 ampères.

Signalons qu'un thyristor de 600 ou 800 volts 10 ampères fonctionne également avec des tensions et des courants inférieurs. On pourra donc tranquillement l'alimenter avec des tensions de 50, 20, 12 ou 4,5 volts et relier, sur son anode, des circuits qui consomment des courants de seulement 0,5 ou 0,1 ampère.

Si on alimente un thyristor avec une tension de 12 volts, on devra relier une ampoule ou n'importe quelle autre charge fonctionnant avec une tension de 12 volts sur son anode.

Si on l'alimente avec une tension de 220 volts, on devra évidemment relier une ampoule ou n'importe quelle autre charge fonctionnant avec une tension de 220 volts sur son anode.

Pour exciter un thyristor et le faire passer en conduction, il faut toujours appliquer sur sa gâchette une tension capable de fournir un courant suffisant.

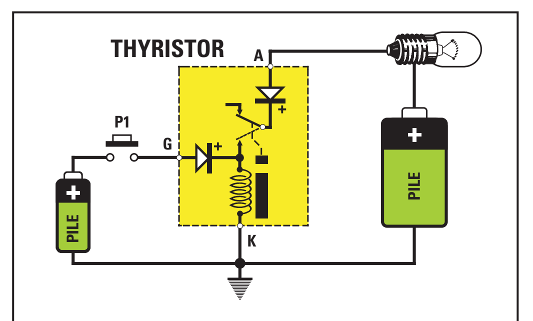


Figure 525 : Un thyristor se distingue d'un relais également parce qu'une diode de redressement, permettant de laisser passer seulement les tensions positives, est reliée en série sur la gâchette et sur l'anode.

Les thyristors les plus sensibles peuvent être excités avec des courants de gâchette de 5 ou 10 mA.

Les moins sensibles peuvent être excités avec des courants de 20 ou 30 mA.

Sur un thyristor, on peut appliquer soit une tension continue, soit une tension alternative. On obtient, dans chaque cas, un fonctionnement complètement différent.

Le thyristor alimenté avec une tension continue

Si on alimente l'anode et la gâchette d'un thyristor avec une tension de polarité positive (voir figure 528), on obtiendra ceci :

- Lorsque l'on appuie sur le bouton P1, une impulsion positive arrive sur la gâchette, ce qui provoque la conduction du thyristor qui fait alors s'allumer l'ampoule reliée sur son anode (voir figure 528-A).
- Si on relâche le bouton P1, on remarque que l'ampoule ne s'éteint pas (voir figure 528-B).
- Pour éteindre l'ampoule, on devra retirer la tension d'alimentation de son anode en actionnant l'interrupteur S1 (voir figure 528-C).
- Si on ferme à nouveau l'interrupteur S1, l'ampoule reste éteinte car le thyristor, pour redevenir conducteur doit recevoir la tension positive nécessaire à l'excitation sur sa gâchette (voir figure 528-A).
- Si on applique une tension de polarité négative sur la gâchette (voir figure 529-A) et que l'on appuie ensuite sur le bouton P1, le thyristor ne sera pas excité, même si l'anode est alimentée avec une tension positive.
- Si on applique une tension de polarité positive sur la gâchette et que l'on applique une tension de polarité négative sur son anode (voir figure 529-B), lorsque l'on appuie sur le bouton P1, le thyristor ne sera pas excité.

Ceci étant posé, vous comprenez maintenant que pour exciter un thyristor, il est indispensable que ce soit une tension positive qui soit appliquée sur son anode et que se soit une impulsion positive qui soit appliquée sur sa gâchette.

Le thyristor alimenté avec une tension alternative

Si on alimente l'anode d'un thyristor avec une tension alternative et sa gâchette avec une tension continue positive, on obtiendra ceci :

- En appuyant sur le bouton P1, le thyristor deviendra instantanément conducteur et fera s'allumer l'ampoule (voir figure 530-A).
- En relâchant le bouton P1, contrairement à ce qui se passe avec l'alimentation continue, l'ampoule s'éteint (voir figure 530-B).

Cela s'explique du fait que la sinusoïde de la tension alternative, comme vous le savez déjà, est composée de demi-ondes positives et de demi-ondes négatives. Donc, lorsque la polarité



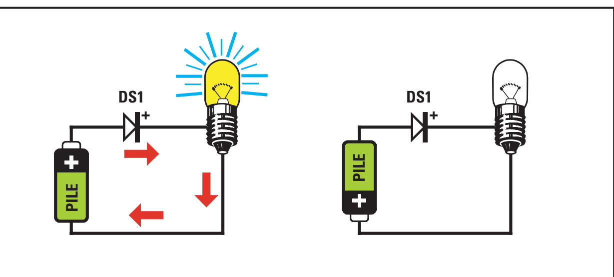


Figure 526 : Si on applique le positif d'une pile sur une diode reliée comme sur cette figure, l'ampoule s'allume. Si, au contraire, on applique le négatif, l'ampoule reste éteinte.

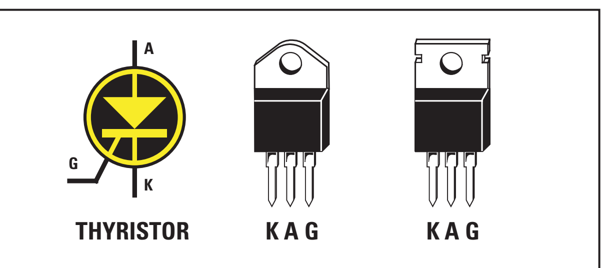


Figure 527 : A gauche, le symbole graphique du thyristor et, à droite, tel qu'il est en réalité avec ses trois broches, A (anode), K (cathode) et G (gâchette).

de cette tension s'inverse, on obtient le même résultat que sur la figure 529-B, c'est-à-dire lorsque le pôle négatif de la pile est alors dirigé vers l'anode.

Pour pouvoir toujours maintenir allumée l'ampoule reliée à un thyristor alimentée avec une tension alternative, on devra toujours garder le bouton P1 enfoncé (voir figure 530-A).

Comme les thyristors ne deviennent conducteurs que lorsque la demi-onde positive se trouve sur leur anode, l'ampoule ne recevra que la moitié de la tension.

Donc, si l'on relie une ampoule de 12 volts à l'anode du thyristor, et que l'on alimente le circuit avec une tension alternative de 12 volts, l'ampoule ne recevra qu'une tension de 6 volts.

Pour allumer une ampoule avec une tension alternative de 12 volts, on devra appliquer une tension alternative de 24 volts sur l'anode du thyristor.

Si on relie une ampoule de 220 volts sur l'anode du thyristor, et qu'on alimente le circuit avec une tension alternative de 220 volts, l'ampoule s'allumera comme si une tension de 110 volts était appliquée à ses bornes et elle émettra donc moins de lumière.

En alimentant l'anode et la gâchette d'un thyristor avec une tension alternative, comme sur la figure 531, on obtiendra ceci :

- Si on appuie sur le bouton P1 placé sur la gâchette, l'ampoule s'allume (voir figure 531-A), parce que les demi-ondes positives de la tension alternative nous permettent d'obtenir le même résultat que celui illustré sur la figure 528-A.

- Dès que l'on relâche le bouton P1 (voir figure 531-B), l'ampoule s'éteint parce que lorsque la demi-onde négative de la tension alternative atteint l'anode, on obtient le même résultat que celui que nous avons représenté sur la figure 529-B.

Si on alimente seulement la gâchette avec une tension alternative et l'anode avec une tension continue, comme sur la figure 532, on obtient ce résultat :

- Lorsque l'on appuie le bouton P1 et que la demi-onde positive de la tension alternative atteint la gâchette, le thyristor est excité et provoque l'allumage de l'ampoule reliée à son anode.

- Si on relâche le bouton P1, l'ampoule ne s'éteint pas, car on obtient le même résultat que celui illustré sur la figure 528-B.

Le triac

Le triac (TRIode Alternate Current - triode bidirectionnelle commandée) est représenté, sur les schémas électriques, avec le symbole graphique de la figure 533, c'est-à-dire avec un cercle dans lequel se trouvent deux diodes de redressement placées en opposition de polarité et munies d'une troisième patte appelée gâchette.

En fait, les triacs peuvent avoir les mêmes dimensions et la même forme qu'un transistor de puissance ordinaire (voir figure 533). D'autres formes existent également, comme vous pouvez le voir sur la figure 542.

Les lettres qui se trouvent sur les trois broches sortant de ce cercle signifient :

A1 = anode de la diode 1
A2 = anode de la diode 2
G = gâchette d'excitation pour les deux diodes

Comme on peut le voir sur la figure 534, où nous avons représenté un triac

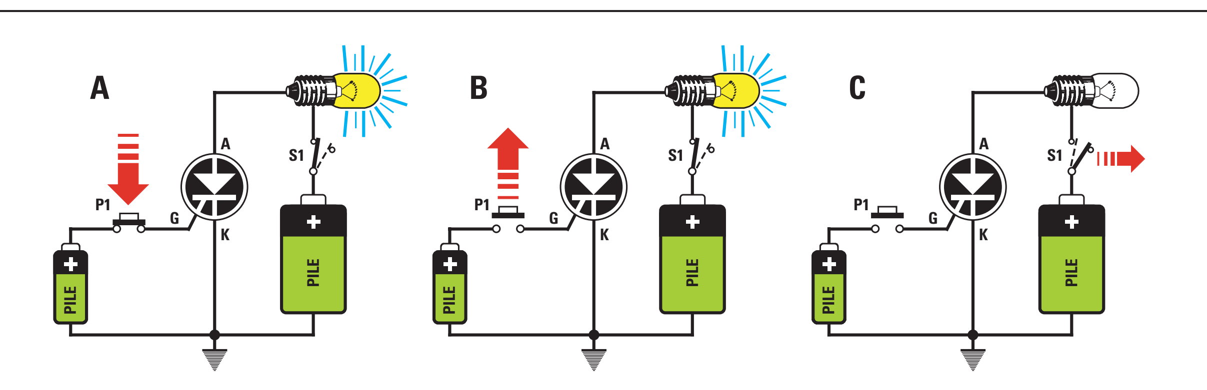


Figure 528 : Si on dirige le positif d'une pile vers la gâchette d'un thyristor et le positif d'une seconde pile vers l'ampoule reliée à l'anode, il suffira d'appuyer sur le poussoir P1 pour la faire s'allumer (voir A). Si on relâche le poussoir, l'ampoule ne s'éteindra pas (voir B). Pour l'éteindre, il faut retirer la tension qui se trouve sur l'anode par l'intermédiaire de l'interrupteur S1 (voir C).

comme s'il s'agissait d'un relais, nous avons dessiné deux diodes de redressement placées en opposition de polarité reliées à l'anode, pour vous faire comprendre qu'une diode sert à laisser passer seulement les tensions de polarité positive et l'autre diode, seulement les tensions de polarité négative.

L'anode 1 doit toujours être reliée à la masse.

On relie toujours l'ampoule ou le moteur que l'on veut alimenter à l'anode 2.

Il faut toujours appliquer une tension sur la gâchette pour pouvoir l'exciter, peu importe si elle est de polarité positive ou négative.

Donc, la gâchette d'un triac, contrairement à celle d'un thyristor, peut être excitée soit par une tension positive, soit par une tension négative.

Lorsque l'on acquiert un triac, il suffit de vérifier les caractéristiques fournies par le constructeur par rapport aux références marquées sur son corps, pour connaître la tension et le courant maximal avec lesquels il peut travailler, c'est-à-dire pour savoir si le triac peut être alimenté avec une tension de 200, 600 ou 800 volts et si on peut relier des charges qui absorbent des courants de 5, 8 ou 10 ampères sur son anode 2.

Signalons qu'un triac de 600 ou 800 volts 10 ampères fonctionne également avec des tensions et des courants inférieurs. On pourra donc l'alimenter avec des tensions de 50, 20, 12 ou 4,5 volts et on pourra relier, sur son anode 2, des circuits ne consommant que des courants de 2, 0,5 ou 0,1 ampères.

Si on alimente un triac à l'aide d'une tension de 12 volts, on devra relier en série, sur son anode 2, une ampoule ou n'importe quelle autre charge fonctionnant avec une tension de 12 volts.

Si on alimente un triac à l'aide d'une tension de 220 volts, on devra relier en série, sur son anode 2, une ampoule ou n'importe quelle autre charge fonctionnant avec une tension de 220 volts.

Pour exciter un triac, il faut appliquer sur sa gâchette une tension ou des impulsions capables de lui fournir le courant nécessaire à le rendre conducteur.

Les triacs les plus sensibles peuvent être excités à l'aide d'un courant de 5 ou 10 mA seulement.

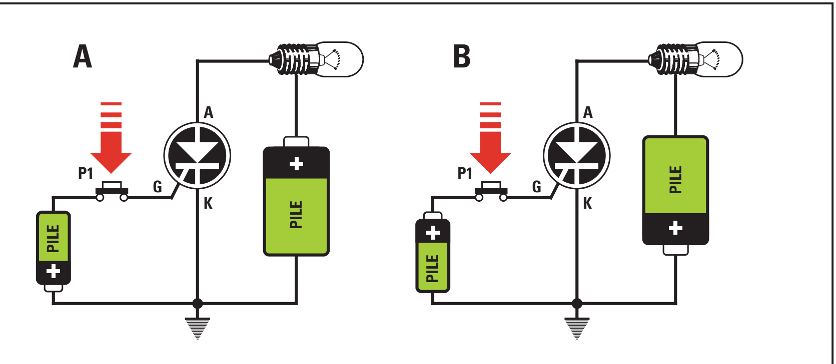


Figure 529 : Si l'on dirige le négatif d'une pile vers la gâchette, en appuyant sur le poussoir P1, l'ampoule ne s'allume pas (voir A). Il se produit la même chose si on relie le négatif de la seconde pile sur l'anode (voir B).

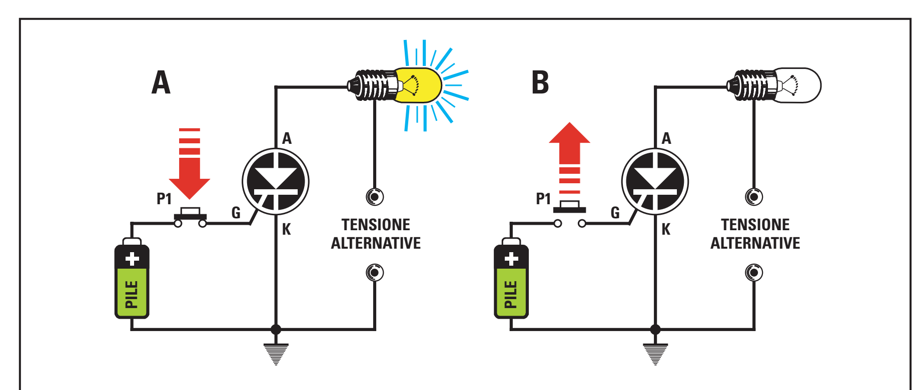


Figure 530 : Si on alimente l'anode à l'aide d'une tension alternative et que l'on dirige ensuite le positif d'une pile vers la gâchette (voir A), en appuyant sur P1, l'ampoule s'allume, mais dès que l'on relâche le poussoir, elle s'éteint immédiatement (voir B).

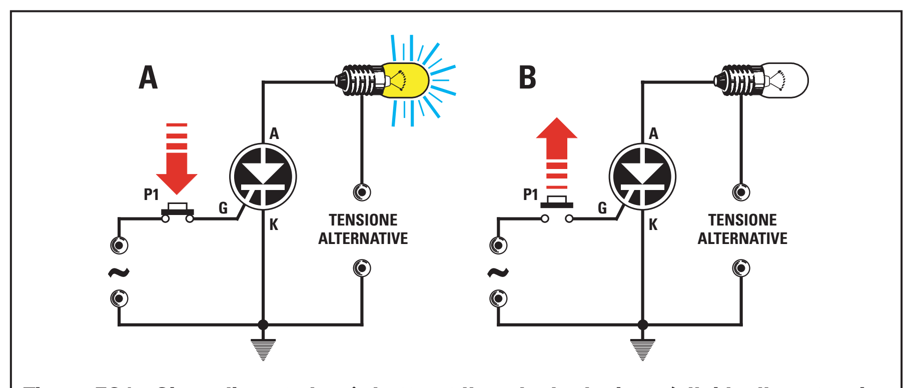


Figure 531 : Si on alimente la gâchette et l'anode du thyristor à l'aide d'une tension alternative, dès que l'on appuiera sur le poussoir P1, l'ampoule s'allumera (A), mais dès qu'on le relâchera, l'ampoule s'éteindra, comme dans le cas de la figure 530.

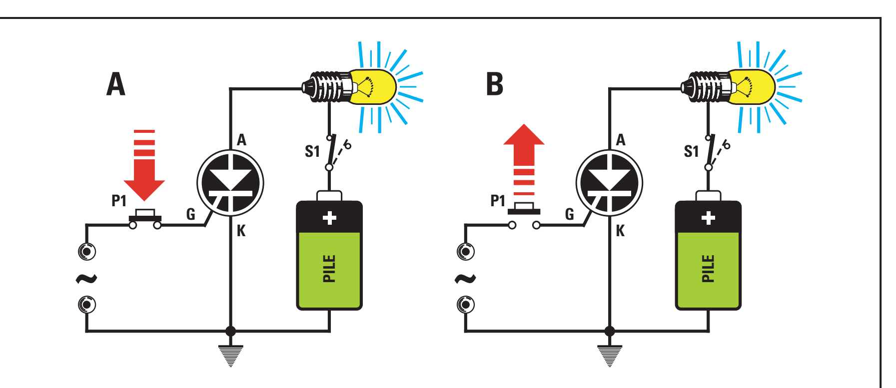


Figure 532 : Si on alimente seulement la gâchette à l'aide d'une tension alternative (voir A), en appuyant sur P1, l'ampoule s'allume mais ne s'éteint pas si on relâche le poussoir. Pour pouvoir éteindre l'ampoule, il faudra ouvrir l'interrupteur S1.

Les moins sensibles peuvent être excitées à l'aide d'un courant de 20 ou 30 mA.

Voici en résumé les différences existant entre un thyristor et un triac :

Le thyristor n'est excité que si une polarité positive se trouve sur son anode et uniquement lorsqu'on applique une tension de polarité positive sur sa gâchette.

Le triac peut être excité en appliquant soit sur sa gâchette, soit sur ses anodes 1 et 2, une tension continue ou alternative, en obtenant dans les deux cas un fonctionnement complètement différent.

Le triac alimenté avec une tension continue

Si on place, en série sur l'anode 2, une ampoule reliée au positif de l'alimentation, pour rendre ce triac conducteur, on devra appliquer une tension de polarité positive ou négative sur sa gâchette.

Si on alimente l'anode 2 et la gâchette à l'aide d'une tension positive (voir figure 536), on obtiendra ce résultat :

- Lorsqu'on appuie sur le bouton P1, une impulsion positive arrive sur la gâchette, le triac devient alors conducteur et provoque l'allumage de l'ampoule reliée à l'anode 2 (voir figure 536-A).

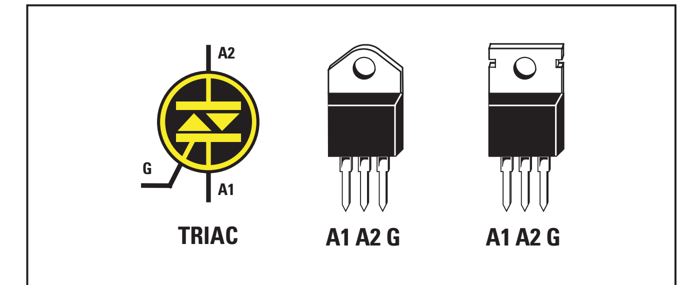


Figure 533 : A gauche, le symbole graphique du triac et à droite, tel qu'il est en réalité avec ses trois broches A1 (anode 1), A2 (anode 2) et G (gâchette).

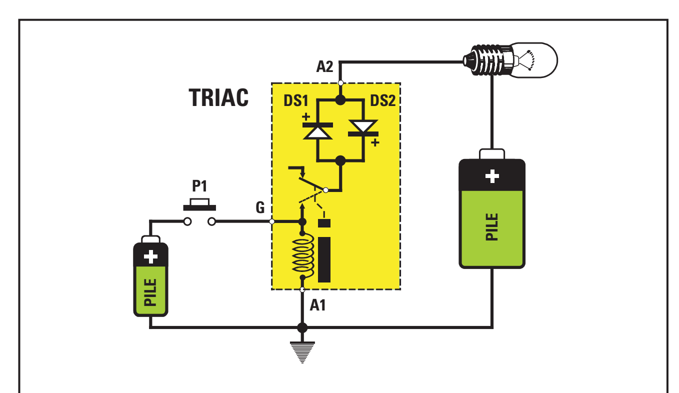


Figure 534 : Un triac se distingue d'un thyristor parce que deux diodes de redressement sont reliées en série sur l'anode et placées en opposition de polarité. Une diode laissera passer seulement les tensions positives et l'autre, seulement les tensions négatives.

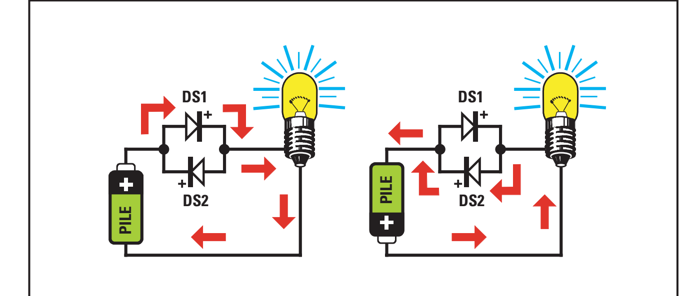


Figure 535 : On peut donc appliquer sur les diodes DS1 et DS2, soit une tension "continue" avec polarité positive ou négative soit une tension "alternative", parce que si la diode DS1 n'est pas conductrice, ce sera alors la diode DS2 qui le sera, ou vice-versa.

- Si on relâche le bouton P1, l'ampoule ne s'éteint pas mais reste allumée (voir figure 536-B).

- Si on désire éteindre l'ampoule, on devra retirer la tension d'alimentation de l'anode 2 en actionnant l'interrupteur S1 (voir figure 536-C).

- Si on actionne à nouveau l'interrupteur S1, l'ampoule reste éteinte parce que, pour être conducteur, le triac doit à nouveau recevoir une tension d'excitation sur sa gâchette.

Si on applique une tension négative sur la gâchette, comme sur la figure 537-A, dès que l'on appuie sur le bouton P1, le triac est excité et l'ampoule s'allume à nouveau.

Si on inverse la polarité de la pile sur l'anode 2 (voir figure 537-B), en appuyant sur P1, l'ampoule s'allume à nouveau, parce qu'à l'intérieur d'un triac, il y a deux diodes en opposition de polarité.

Par conséquent, si ce n'est pas la diode 1 qui est conductrice, c'est donc la diode 2.

Pour désactiver un triac alimenté par une tension continue, il faut toujours retirer la tension de l'anode 2 par l'intermédiaire de l'interrupteur S1, comme nous l'avons fait pour les thyristors.

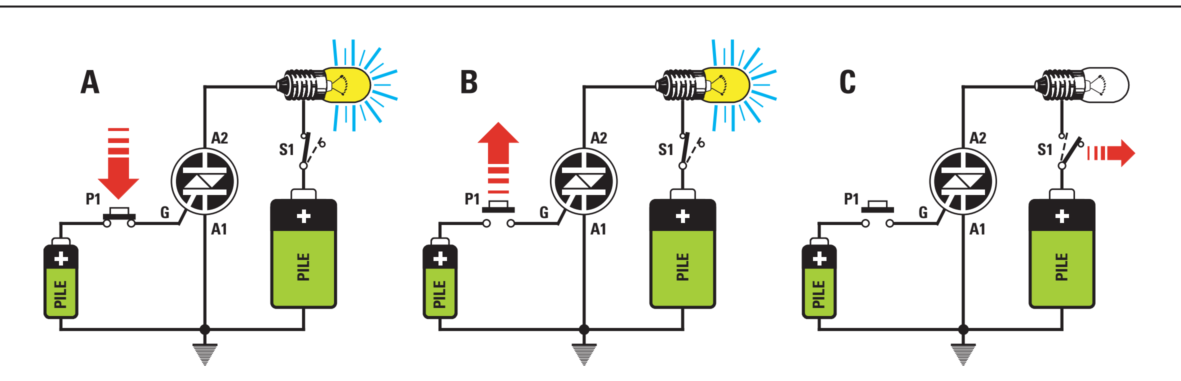


Figure 536 : Si on dirige le positif d'une pile vers la gâchette d'un triac et le positif d'une seconde pile vers l'ampoule reliée à l'anode 2, il suffira d'appuyer sur le poussoir P1 pour la faire s'allumer (voir A). Si on relâche le poussoir, l'ampoule ne s'éteindra pas (voir B). Pour l'éteindre, il faut retirer la tension qui se trouve sur l'anode 2 par l'intermédiaire de l'interrupteur S1 (voir C).

Le triac alimenté à l'aide d'une tension alternative

Si on alimente l'anode 2 à l'aide d'une tension alternative, on obtiendra ceci :

- Si on applique une tension positive (voir figure 538-A), ou une tension négative, sur la gâchette, dès que l'on appuie sur le bouton P1, le triac devient immédiatement conducteur et l'ampoule s'allume.

- Si on relâche le bouton P1, l'ampoule s'éteint car, lorsque la sinusoïde de la tension alternative passe de la demi-onde positive à la demi-onde négative, pendant une fraction de seconde, la tension passe par une valeur de 0 volt sur l'anode 2. On obtient alors le même résultat que si on ouvrait l'interrupteur S1.

- Si on veut garder l'ampoule toujours allumée, on doit garder le bouton P1 enfoncé.

Contrairement au thyristor sur la sortie duquel on ne peut prélever qu'une tension égale à la moitié de celle d'alimentation, sur la sortie d'un triac, alimentée à l'aide d'une tension alternative, on prélève toujours la tension d'alimentation totale parce que ce composant est conducteur, aussi bien avec les demi-ondes positives qu'avec les demi-ondes négatives.

Donc, si on relie une ampoule de 12 volts à l'anode 2 du triac et qu'on alimente le circuit à l'aide d'une tension alternative de 12 volts, l'ampoule recevra la tension totale de 12 volts.

Si on relie une ampoule de 220 volts à l'anode 2 du triac et qu'on alimente le circuit à l'aide d'une tension de 220 volts, l'ampoule recevra la tension totale de 220 volts.

Si on alimente l'anode ainsi que la gâchette à l'aide d'une tension alternative (voir figure 539), on obtient ceci :

- Si on appuie sur le bouton P1 appliqué sur la gâchette, l'ampoule s'allume car, en présence de demi-ondes positives ou négatives, on a toujours l'une des deux diodes, placées en opposition de polarité, qui laisse passer la tension, comme nous l'avons illustré sur les figures 537 et 538.

- Dès que l'on relâche le bouton P1, l'ampoule s'éteint car, lorsque la sinusoïde de la tension alternative inverse sa polarité, la tension présente sur l'anode 2 passe, pendant une frac-

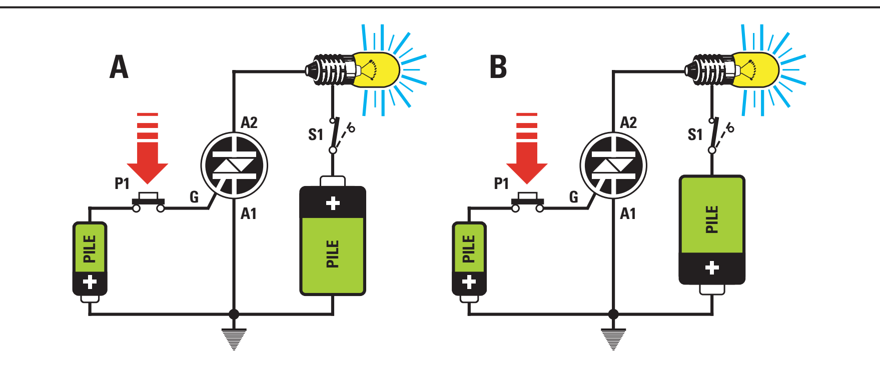


Figure 537 : Si l'on dirige le négatif d'une pile vers la gâchette, puis que l'on appuie sur le poussoir P1, l'ampoule s'allume (voir A) et la même chose se produit si on relie le négatif de la seconde pile sur l'anode (voir B).

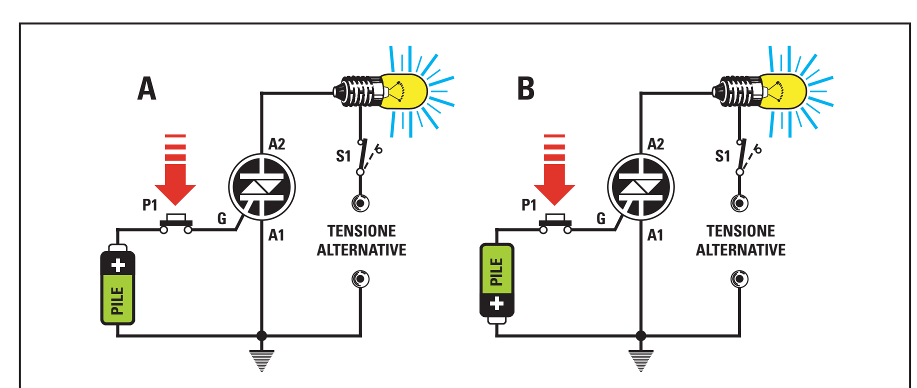


Figure 538 : Si on alimente l'anode à l'aide d'une tension alternative et que l'on appuie sur P1, l'ampoule s'allume, que la pile soit reliée à la gâchette par son positif ou par son négatif (voir A et B).

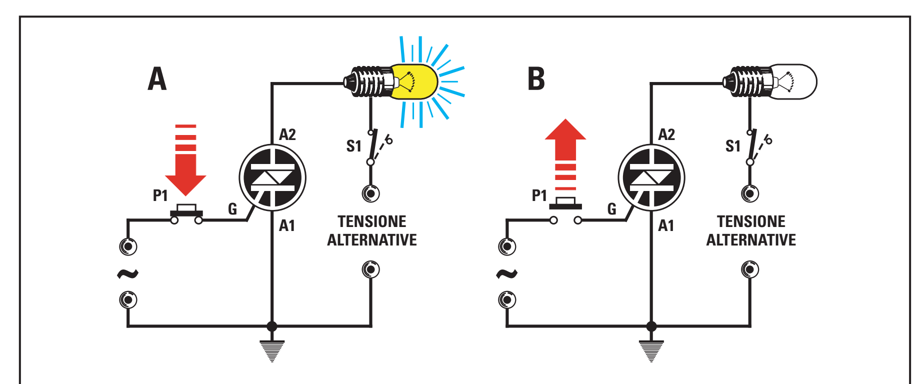


Figure 539 : Si on alimente la gâchette et l'anode 2 du triac à l'aide d'une tension alternative, dès que l'on appuiera sur le poussoir P1, l'ampoule s'allumera (A), mais dès qu'on le relâchera, l'ampoule s'éteindra immédiatement.

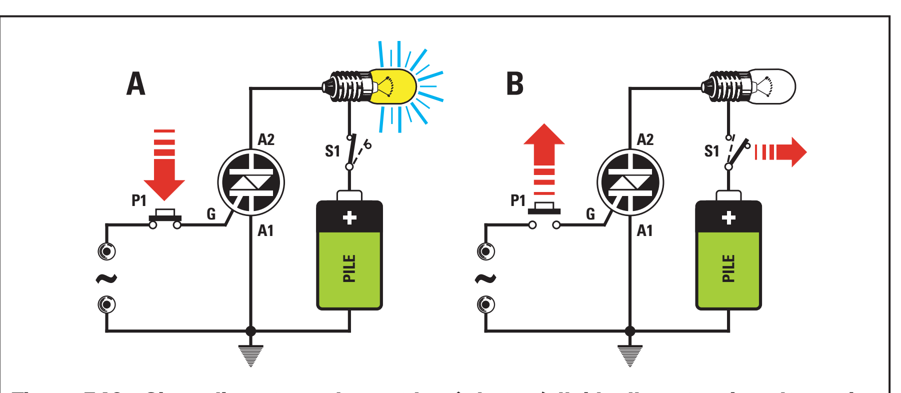


Figure 540 : Si on alimente seulement la gâchette à l'aide d'une tension alternative (voir A) et que l'on appuie sur P1, l'ampoule s'allume mais ne s'éteint pas si on relâche le poussoir. Pour éteindre l'ampoule, il faudra ouvrir l'interrupteur S1 (voir B).

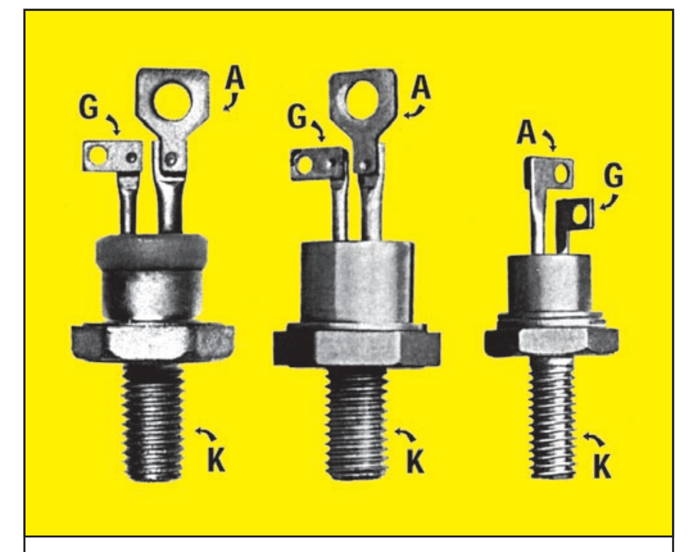


Figure 541 : Il existe des thyristors de puissance utilisés dans le domaine industriel ayant la forme d'un boulon. Ces composants sont capables d'alimenter des circuits qui consomment jusqu'à 50 ou 100 ampères. La vis de ce boulon est la cathode (K), la broche la plus longue, l'anode (A) et la plus courte, la gâchette (G).

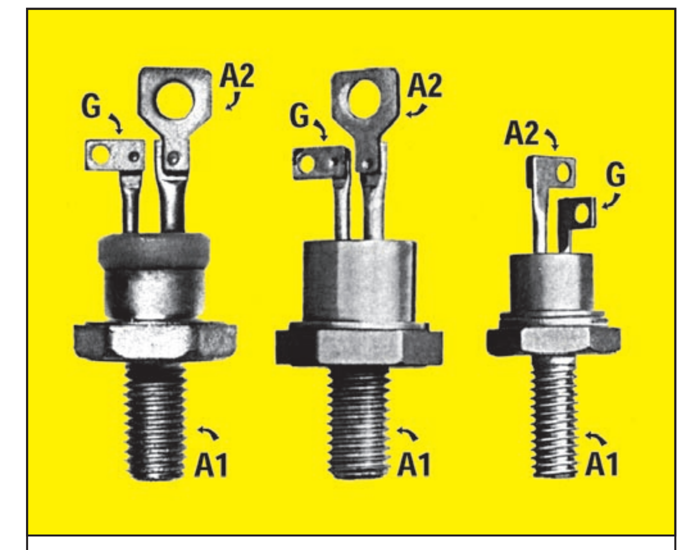


Figure 542 : Les triacs de puissance ont également un corps semblable à celui des thyristors. Pour savoir si un tel composant est un thyristor ou un triac, il suffit d'alimenter son anode à l'aide d'une tension négative de 12 volts. Si l'ampoule ne s'allume pas (voir figure 529), c'est un thyristor, alors que si elle s'allume (voir figure 537), c'est un triac.

tion de seconde, par une valeur de 0 volt. On obtient alors la même chose que si on ouvrait un instant l'interrupteur S1.

Si on alimente seulement la gâchette à l'aide d'une tension alternative et l'anode à l'aide d'une tension continue, comme sur la figure 540, on obtient alors ceci :

- Lorsque l'on appuie sur le bouton P1 et que la demi-onde positive de la tension alternative atteint la gâchette, le triac est excité et provoque l'allumage de l'ampoule reliée à son anode.

- Si on relâche le bouton P1, l'ampoule ne s'éteint pas car il advient alors la même chose que sur la figure 536-B.

Les thyristors et les triacs de puissance

Nous avons dessiné, sur les figures 527 et 533, la représentation schématique des thyristors et des triacs en mesure d'alimenter des circuits qui consomment des courants ne dépassant pas 10 ampères, ce qui est le cas le plus fréquent.

Il existe des thyristors et des triacs utilisés dans le domaine industriel, capables d'alimenter des circuits qui consomment des courants très élevés de 50 ou même de 100 ampères.

Le corps de ces composants de puissance, comme vous pouvez le constater sur les figures 541 et 542, a la forme d'un gros boulon métallique muni de deux broches de sortie.

La partie filetée est, en général, fixée sur un châssis métallique ou sur un radiateur adéquat grâce à un écrou.

Sur la partie supérieure, la broche la plus fine est toujours la gâchette, tandis que la broche la plus grosse est l'anode (A) s'il s'agit d'un thyristor ou bien l'anode 2 (A2) s'il s'agit d'un triac.

Pour conclure

Dans les prochains cours, nous vous proposerons d'abord un circuit didactique qui vous permettra de mettre en application ce que vous venez d'apprendre puis deux réalisations intéressantes mettant en œuvre thyristors et triacs.

◆ **G. M.**

NOTES

Un circuit didactique pour thyristor et triac le LX.5019

Rien n'est meilleur, pour assimiler le fonctionnement d'un composant, que de le voir fonctionner. Ce montage didactique, tout simple, vous permettra de comprendre ce qui différencie un thyristor d'un triac. Il vous permettra également de mieux saisir le comportement de ces composants selon qu'ils sont alimentés par une tension continue ou par une tension alternative.

Nous l'avons déjà écrit mais nous ne le répéterons jamais assez, la théorie ne sert pas à grand-chose sans la pratique ! Le montage décrit dans ces lignes vous permettra de tester "grandeur nature" ce que nous avons étudié dans la précédente leçon.



Figure 542.

Le schéma électrique

Nous commençons la description du schéma électrique, présenté sur la figure 543, par le transformateur T1, muni d'un enroulement primaire à relier aux 220 volts secteur et d'un secondaire à point milieu capable de fournir une tension de 2 x 12 volts.

La prise centrale de ce transformateur est utilisée pour alimenter aussi bien la cathode K du thyristor que l'anode A1 du triac.

Deux diodes de redressement DS1 et DS2 sont reliées aux deux extrémités des 2 x 12 volts de ce transformateur.

La diode DS1 est utilisée pour redresser seulement les demi-alternances positives de la tension alternative et la diode DS2, seulement les demi-alternances négatives.

Les tensions redressées sont filtrées par les deux condensateurs électrolytiques C1 et C2, pour obtenir une tension parfaitement continue, de polarité positive, sur la diode DS1 et de polarité négative sur la diode DS2.

Sur une seule extrémité du secondaire et avant la diode de redressement DS1, on prélève une tension alternative de 12 volts qui servira à alimenter, par l'intermédiaire du commutateur S2, les anodes A du thyristor et A2 du triac et, par l'intermédiaire du commutateur S3, les gâchettes de ces deux composants.

Les trois tensions de polarité positive, négative ou alternative atteindront les deux commutateurs rotatifs S2 et S3.

En réglant le commutateur S2 sur la position 1, les anodes du thyristor et du triac sont alimentées à l'aide d'une tension négative.

En réglant le commutateur S2 sur la position 2, les anodes du thyristor et du triac sont alimentées à l'aide d'une tension positive.

En réglant le commutateur S2 sur la position 3, les anodes du thyristor et du triac sont alimentées à l'aide d'une tension alternative.

En réglant le commutateur S3 sur la position 1, les gâchettes du thyristor et du triac sont alimentées à l'aide d'une tension négative.

En réglant le commutateur S3 sur la position 2, les gâchettes du thyristor et du triac sont alimentées à l'aide d'une tension positive.

En réglant le commutateur S3 sur la position 3, les gâchettes du thyristor et du triac sont alimentées à l'aide d'une tension alternative.

En utilisant ces commutateurs, on peut obtenir toutes les combinaisons nécessaires pour vérifier si un thyristor ou un triac fonctionne comme il est indiqué dans le texte.

Figure 543 : Schéma électrique du circuit et, à droite, connexions d'un thyristor, d'un triac, ainsi que d'une diode LED.

La tension prélevée sur le curseur du commutateur S2, en passant à travers l'interrupteur S4, sera appliquée sur les ampoules de 12 volts, LP1 et LP2 reliées au thyristor et au triac. L'interrupteur S4 nous servira à couper la tension lorsque, une fois les deux composants alimentés avec une tension continue, on voudra éteindre les deux ampoules.

La tension prélevée sur le curseur du commutateur S3 arrive sur le poussoir P1. Si on appuie ce dernier, le courant d'excitation nécessaire atteindra les gâchettes du thyristor et du triac.

La diode LED DL1, accompagnée de sa résistance série R1, est reliée entre les deux extrémités du secondaire redressé. Elle est utilisée comme témoin de présence du courant secteur.

Réalisation pratique

Pour réaliser ce montage didactique, vous devrez d'abord réaliser ou vous procurer le circuit imprimé double face et réunir tous les composants de la liste. Si vous choisissez de réaliser vous-même le circuit double face, n'oubliez pas de souder des deux côtés les composants ayant des pistes sur les deux faces. Pour le poussoir, n'oubliez pas les "vias". N'oubliez pas non plus de raccorder entre elles les pistes devant l'être. Le circuit professionnel est à trous métallisés, les pistes sont recouvertes d'un vernis-réserve et il est sérigraphié, ce qui réduit considérablement les risques d'erreurs.

Avant de commencer, nous vous conseillons de raccourcir de 14 mm les axes des deux commutateurs rotatifs, S2 et S3. Dans le cas contraire, les boutons resteraient trop éloignés de la face avant, ce qui manquerait d'esthétique.

Une fois cette opération effectuée, vous pouvez fixer les deux commutateurs sur le circuit imprimé, puis relier, à l'aide de petits morceaux de fil, les quatre broches visibles sur la figure 544 aux trous présents sur le circuit imprimé.

Les commutateurs sont des 4 circuits 3 positions. Un seul circuit est utilisé. Veillez à ne pas relier, par erreur, le fil marqué "C" au commun d'un circuit différent de celui prévu car, dans ce cas-là, le montage ne fonctionnera pas.

Vous pouvez ensuite insérer, dans les trous correspondants du circuit imprimé les résistances R1, R2 et R3, ainsi que les deux diodes DS1 et DS2 en respectant leur polarité. (voir figure 544).

Toujours sur ce même côté du circuit imprimé, insérez le bornier à 2 pôles pour le cordon d'alimentation du secteur 220 volts, puis les deux condensateurs électrolytiques C1 et C2, en respectant la polarité de leurs broches. Comme vous le savez probablement déjà, la broche la plus longue est toujours le positif, donc la broche + de C1 doit être dirigée vers la droite et celle de C2, vers la gauche.

Poursuivez le montage en plaçant le thyristor, sur le corps duquel vous trouverez la référence TYN808 sur le côté droit du circuit imprimé et le triac, référencé BTA10, sur le côté gauche du circuit.

Comme vous pouvez le voir sur la figure 544 ainsi que sur les photos, vous devez diriger le côté métallique de ces deux composants respectivement vers les sorties de LP1 et LP2.

Vous insérerez également le transformateur d'alimentation T1 de ce côté-ci du circuit imprimé.

Vous pouvez, à présent, retourner le circuit imprimé et insérer tous les composants de la figure 547.

En haut, montez les deux douilles des ampoules, en bas, les deux interrupteurs à levier S1 et S4 et, au centre, le bouton poussoir P1 ainsi que la diode LED.

En ce qui concerne la diode LED (voir figure 543), faites attention à bien insérer la broche la plus courte dans le trou de gauche, indiqué par la lettre "K" (voir figure 547). Si vous inversez les deux broches K et A, la diode LED ne s'allumera pas.

Lorsque vous insérez le poussoir P1, vous devez vous assurer que le méplat de son corps soit bien dirigé vers le

Figure 544a : Schéma d'implantation des composants du circuit didactique. Pour distinguer le thyristor du triac, vous devrez contrôler la référence marquée sur leur corps. Le thyristor se distingue par la référence TYN808, tandis que le triac porte la référence BTA10.
Comme vous pouvez le voir sur le dessin, les broches centrales des inverseurs S1 et S4 sont reliées, à l'aide d'un morceau de fil, à la broche du haut sur le dessin afin de les transformer en simples interrupteurs. Comme les commutateurs rotatifs S3 et S2 sont composés de 4 circuits à 3 positions, vous devrez relier le fil C (commun) à la broche du circuit choisi, les autres étant inutilisés. Afin d'éviter les erreurs, respectez les connexions telles qu'elles se présentent sur le dessin.

bas, comme on peut le voir sur la figure 547. Si vous dirigez différemment ce méplat, vous ne pourrez pas exciter les gâchettes du thyristor et du triac.

Si vous avez fait l'acquisition du boîtier, il faut d'abord poser le circuit imprimé au dos de la face avant et marquer les 4 trous. Percez ensuite, au centre de chaque marquage 1 trou de diamètre 3,5 mm. Vous pouvez maintenant visser les 4 entretoises en laiton de 5 mm sur le circuit imprimé. Ne serrez pas les vis à fond. Fixez le circuit imprimé à la face avant, réglez l'équerrage au mieux et serrez les 8 vis.

Vous devrez également percer un trou sur l'arrière du boîtier afin de permettre le passage du cordon d'alimentation. N'oubliez pas d'ébarber le trou avec un foret de fort diamètre et de faire un nœud au cordon, côté intérieur évidemment, pour éviter son arrachement accidentel.

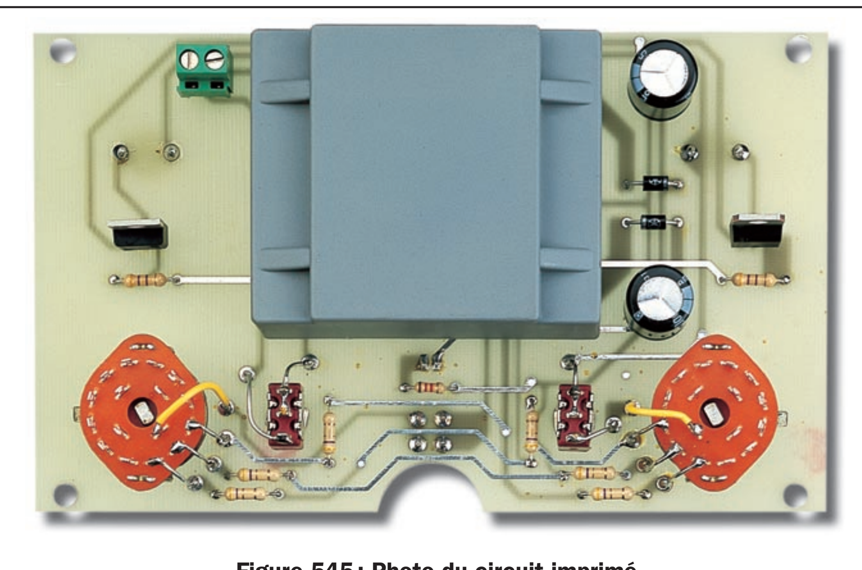
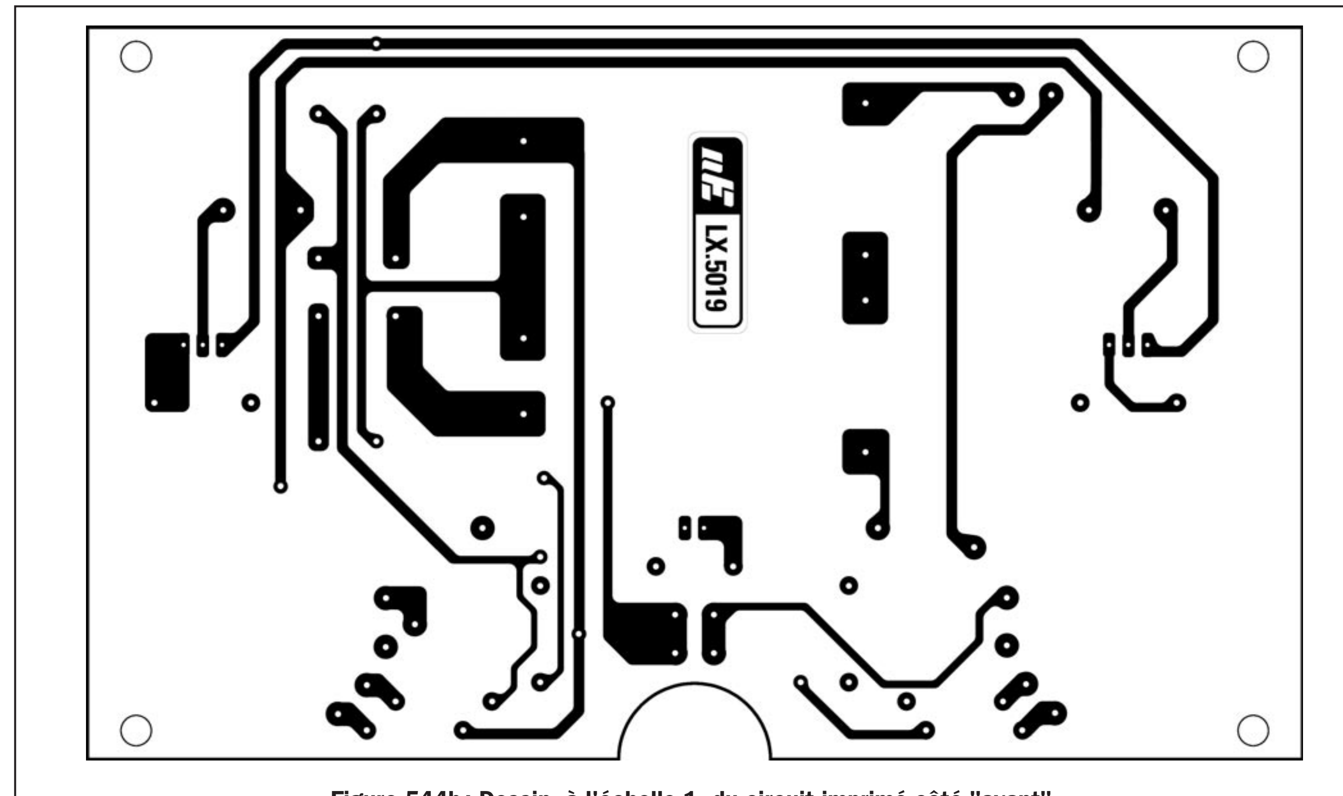
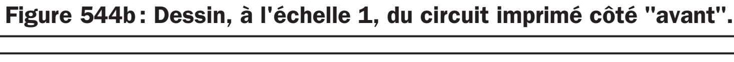
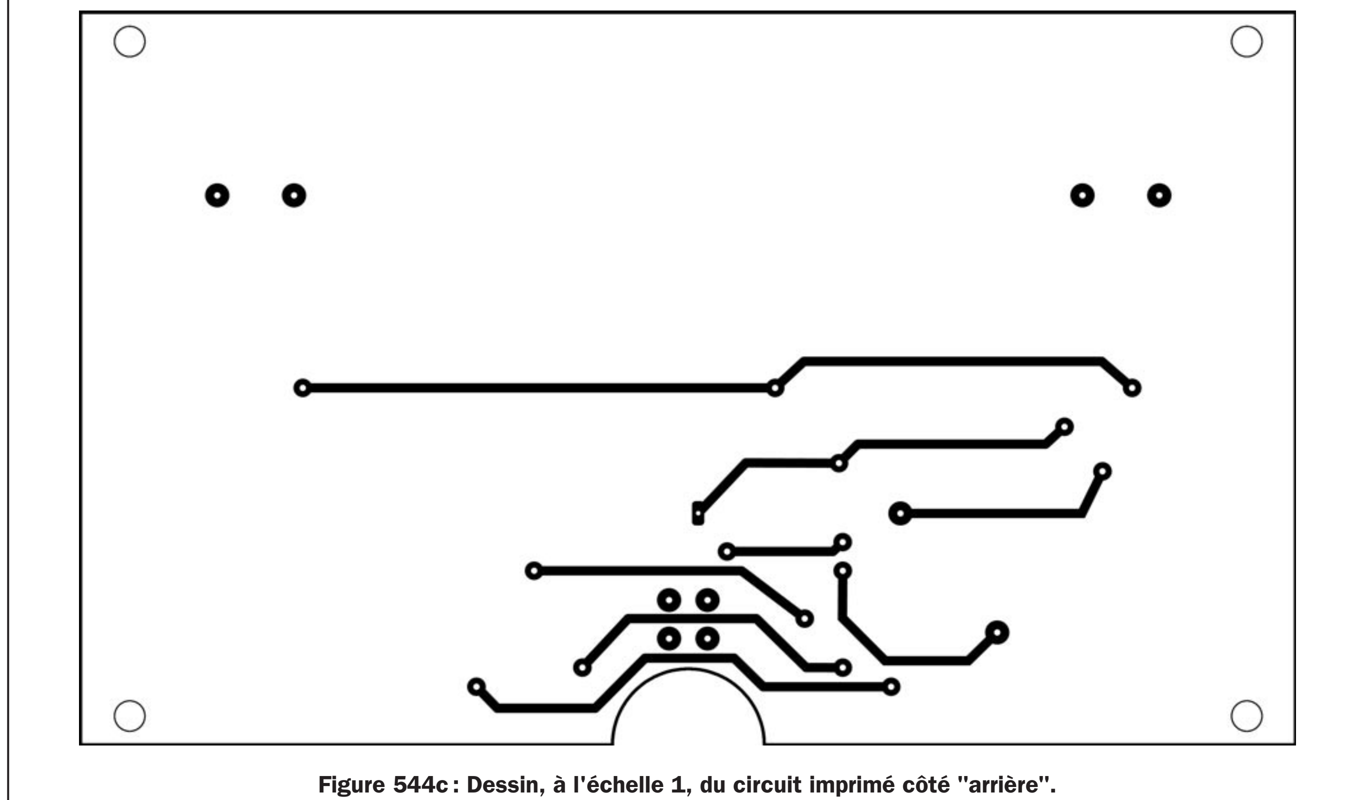


Figure 545 : Photo du circuit imprimé et de tous ses composants vu du côté "arrière".

Mettez en place les boutons des commutateurs en faisant coïncider leurs symboles "I" avec le signe + gravé sur le circuit. Terminez en vissant les deux ampoules dans leurs douilles respectives.




Figure 544b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté "avant".


Figure 544c : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté "arrière".

Après une sérieuse vérification, commencez à tester votre circuit.

La phase de test

Le commutateur de gauche (voir photo de début d'article), marqué "ANODE", sert à alimenter les anodes du thyristor et du triac de la façon suivante :

- position 1 = tension négative,
- position 2 = tension positive,
- position 3 = tension alternative.

L'inverseur marqué "AMPOULES" sur la face avant du boîtier est S4. En positionnant le levier :

- sur "ON", les ampoules seront connectées aux anodes,
- sur "OFF", les ampoules seront déconnectées.

Le commutateur de droite, marqué "GACHETTES", sert à alimenter les gâchettes du thyristor et du triac, de la façon suivante :

- position 1 = tension négative,
- position 2 = tension positive,

Liste des composants du LX.5019

R1	=	1,2 kΩ 1/4 W
R2	=	4,7 Ω 1/2 W
R3	=	4,7 Ω 1/2 W
R4	=	4,7 Ω 1/2 W
R5	=	4,7 Ω 1/2 W
R6	=	4,7 Ω 1/2 W
R7	=	4,7 Ω 1/2 W
R8	=	470 Ω 1/2 W
R9	=	470 Ω 1/2 W
C1	=	1 000 µF électrolytique
C2	=	1 000 µF électrolytique
DS1	=	Diode 1N4007
DS2	=	Diode 1N4007
DL1	=	LED rouge
SCR1	=	Thyristor 800 V 8 A
TRC1	=	Triac 500 V 5 A
T1	=	Transfo. 25 W (T025.04) Prim. 220 V - sec. 12+12 V 1 A
S1	=	Interrupteur
S2	=	Commutateur 4 voies 3 pos.
S3	=	Commutateur 4 voies 3 pos.
S4	=	Interrupteur
P1	=	Poussoir
LP1	=	Ampoule 12 V 3 W
LP2	=	Ampoule 12 V 3 W

Divers :

2	Douilles pour ampoules
2	boutons pour axe de 6 mm
1	Boîtier avec face avant sérigraphiée
1	Circuit imprimé réf. LX.5019

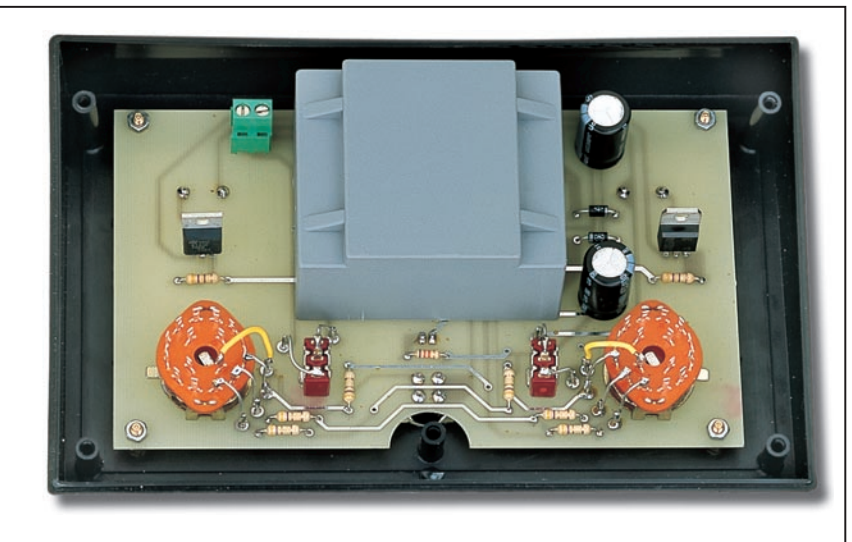


Figure 546 : Vous devez fixer le circuit imprimé sur la face avant du boîtier à l'aide de quatre entretoises métalliques de 5 mm.

- position 3 = tension alternative.

L'interrupteur marqué "SECTEUR" sur la face avant du boîtier est S1. En positionnant le levier :

- sur "ON", le circuit sera alimenté et la diode LED s'allumera,
- sur "OFF", le circuit sera coupé et la diode LED s'éteindra.

◆ **G. M.**

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur les figures 544 et 547 pour réaliser le circuit didactique pour thyristor et triac LX.5019, y compris le circuit imprimé double face à trous métallisés sérigraphié ainsi que le boîtier et sa face avant sérigraphiée : 375 F. Le circuit imprimé seul : 98 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

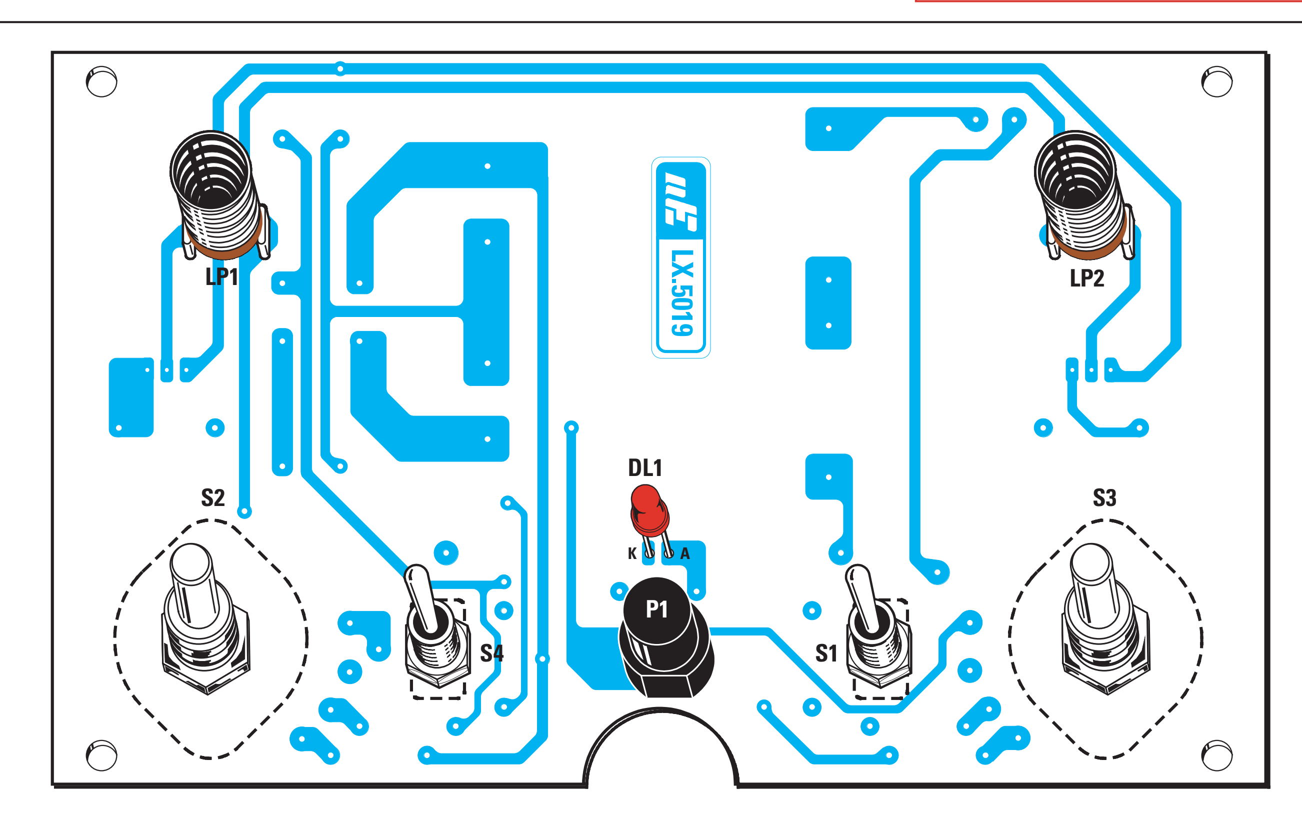


Figure 547 : Sur le côté "avant" du circuit imprimé, soudez les deux douilles LP1 et LP2, la diode LED, en respectant la polarité A et K, ainsi que le bouton P1, en dirigeant le méplat de son corps vers le bas du dessin, car autrement, le circuit ne fonctionnera pas.

NOTES

Un variateur simple pour ampoules 220 volts le LX.5020

Le circuit que nous vous proposons ici est une application de la leçon sur les thyristors et triacs. Il sert à faire varier la luminosité d'une ampoule 220 volts à filament de son maximum à son minimum.



Figure 548a : Le boîtier du variateur fermé tel que vous l'utiliserez.

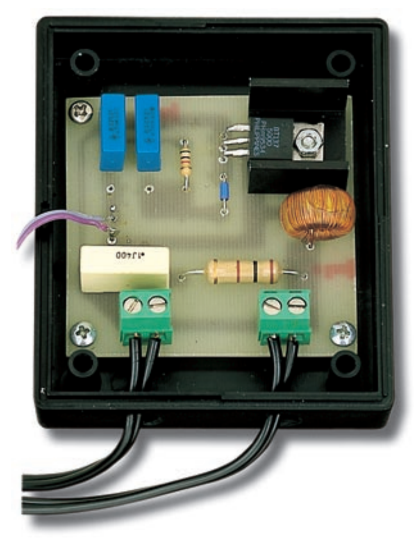


Figure 548b : Le boîtier du variateur ouvert afin de vous montrer comment est fixé le circuit imprimé à l'intérieur.

Un variateur est généralement utilisé pour réduire la luminosité des ampoules placées dans une chambre à coucher ou qui sont destinées à maintenir un certain éclairage pendant que l'on regarde la télévision. Le variateur permet également de faire baisser la température d'un fer à souder, ou encore de réduire la vitesse d'une perceuse électrique.

Signalons que ce circuit ne peut pas être utilisé avec des tubes au néon parce qu'ils n'ont pas de filament.

Pour réduire la luminosité d'une ampoule ou la température d'un fer à souder, il faut seulement abaisser la valeur de la tension d'alimentation, c'est-à-dire la faire descendre des 220 volts fournis par le secteur à des valeurs inférieures, telles que 160, 110, 80 ou 40 volts. Pour obtenir ce résultat, on utilise un triac.

Pour comprendre comment un triac parvient à faire baisser la tension des 220 volts, il faut tout d'abord expliquer la différence qu'il y a entre les volts crête à crête (pic to pic) et les volts efficaces, ainsi que ce que signifie le déphasage.

Comme on le sait déjà, une tension alternative est composée de deux demi-ondes ou demi-alternances, une positive et une négative (voir figure 550).

La demi-alternance positive, partant d'une valeur de 0 volt, montera rapidement jusqu'à atteindre son pic positif maximal, puis descendra jusqu'à retrouver sa valeur initiale de 0 volt.

Ensuite, commencera la demi-alternance négative qui descendra jusqu'à atteindre son pic négatif maximal puis montera à nouveau pour retrouver sa valeur de 0 volt initiale. Une fois celle-ci atteinte, la

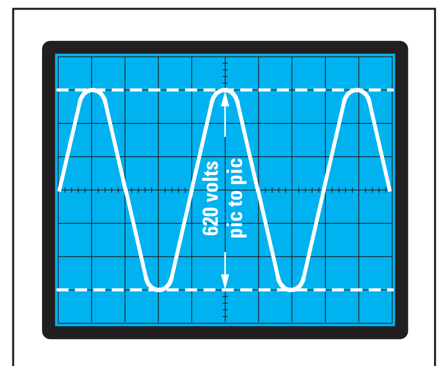


Figure 549 : Si l'on mesurait la tension de 220 volts à l'aide d'un oscilloscope, on verrait que les deux pics de la sinusoïde alternative atteignent une valeur de 620 volts.

demi-alternance positive suivante commencera et ainsi de suite, ce cycle se répétant à l'infini.

La tension alternative que nous utilisons tous les jours pour alimenter tous nos appareils électriques a une fréquence de 50 hertz et une valeur efficace de 220 volts.

La valeur de la fréquence, c'est-à-dire 50 hertz, indique que la polarité de la sinusoïde change en passant du positif au négatif et vice-versa, 50 fois par seconde.

La valeur de la tension, c'est-à-dire 220 volts efficaces, est toujours inférieure de 2,82 fois par rapport à la valeur de tension appelée crête à crête, qui correspond à la valeur maximale que peuvent atteindre la demi-alternance positive et la demi-alternance négative, égale à 620,4.

Donc, les 220 volts que l'on obtient en appliquant les pointes de touche d'un multimètre sur une prise de courant sont des volts efficaces et non pas des volts crête à crête qui ne peuvent être visualisés que sur l'écran d'un instrument appelé oscilloscope.

En reliant un oscilloscope à une prise de courant, les deux demi-alternances, dont la valeur entre pic positif et pic négatif atteindra 220 x 2,82 = 620 volts, apparaîtront sur l'écran de l'instrument (voir figure 549).

Ne vous laissez pas impressionner par cette valeur de tension très élevée car les volts qui comptent sont les volts efficaces, c'est-à-dire 220 volts.

Pour vous expliquer la différence qui existe entre volts crête à crête et volts efficaces, prenons l'exemple de deux glaçons.

Si on prend deux glaçons de forme conique pour simuler la forme des deux demi-ondes positive et négative, et qu'on les place l'un au-dessus de l'autre, on atteindra une hauteur que l'on pourra considérer équivalente aux volts crête à crête d'une tension alternative (voir figure 550).

Si l'on fait fondre ces deux glaçons dans un même récipient, le niveau de l'eau descendra considérablement et on peut considérer que cette hauteur est équivalente aux volts efficaces d'une tension alternative (voir figure 550).

Sachant qu'avec deux demi-alternances complètes, on obtient une tension de 220 volts efficaces, si on retire 1/4 de leur aire à ces deux demi-alternances, on obtient une tension efficace de seulement 165 volts.

Si on utilise la moitié de leur aire, comme sur la figure 551, on n'obtient qu'une seule moitié de la tension efficace, c'est-à-dire 110 volts.

Si on utilise 1/4 de leur aire (voir figure 552), on obtiendra une tension efficace de seulement 55 volts.

Pour retirer une portion de leur aire à ces deux demi-alternances, de façon à réduire les volts efficaces, on utilise le schéma de la figure 557.

Comme vous le savez certainement déjà, pour exciter un triac, il faut appliquer des impulsions négatives ou positives sur sa gâchette.

Si les impulsions que l'on applique sur la gâchette sont en phase avec les demi-alternances présentes sur l'anode 2, on obtient ceci :

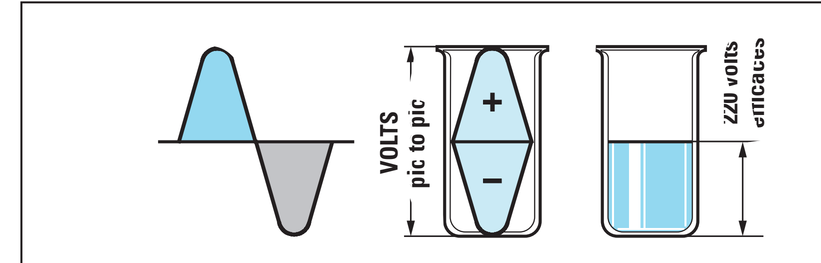


Figure 550 : Pour comprendre pourquoi on obtient une valeur efficace de 220 volts avec une valeur de 620 volts crête à crête, on peut prendre deux cubes de glace de forme identique à celle des demi-alternances et les faire fondre dans un récipient. Le niveau atteint représente alors les volts efficaces.

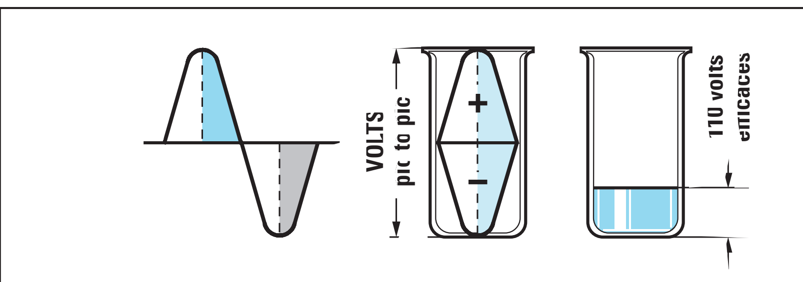


Figure 551 : Si on parvient, à l'aide d'un artifice, à utiliser seulement la moitié de ces deux demi-alternances, il est bien évident que le niveau efficace que l'on obtiendra sera la moitié de ce que vous voyez sur la figure 550 et alors, nos 220 volts efficaces se réduiront à seulement 110 volts efficaces.

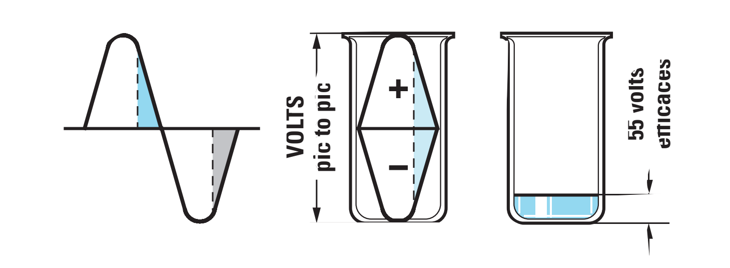


Figure 552 : Si on utilise seulement 1/4 de l'aire de ces demi-alternances, on obtiendra une valeur efficace égale à 1/4 de 220 volts et donc une tension efficace de seulement 55 volts. C'est au triac qu'est dévolu le rôle de prélever cette portion sur les demi-alternances.

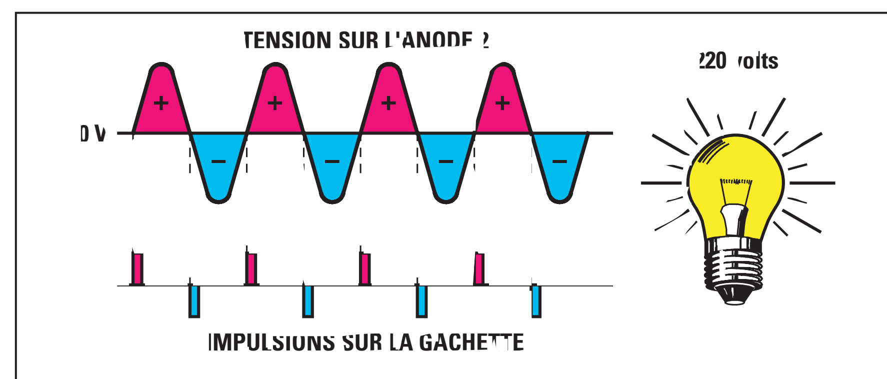


Figure 553 : Si on excite la gâchette d'un triac à l'aide d'une impulsion positive, lorsque la demi-alternance positive commence son cycle, et à l'aide d'une impulsion négative lorsque la demi-alternance négative commence son cycle, on prélèvera alors une tension égale à 220 volts sur l'anode 2.

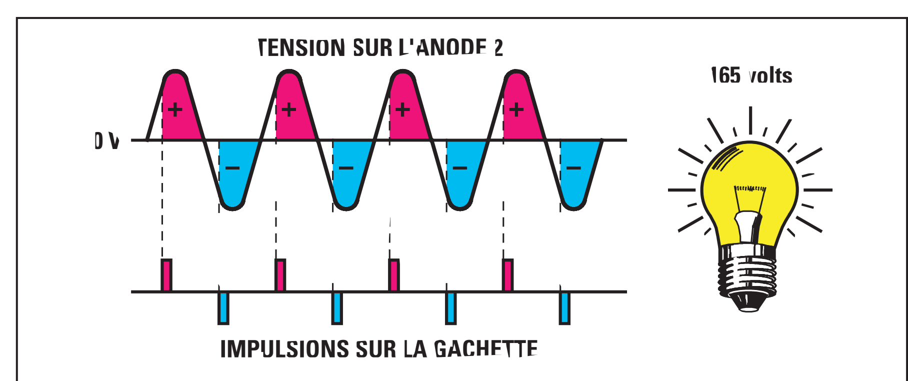


Figure 554 : Si on excite la gâchette d'un triac à l'aide d'une impulsion positive peu après que la demi-alternance positive ait commencé son cycle et toujours en retard, lorsque le cycle de la demi-alternance négative commencera, on prélèvera alors une tension égale à 165 volts sur l'anode 2.

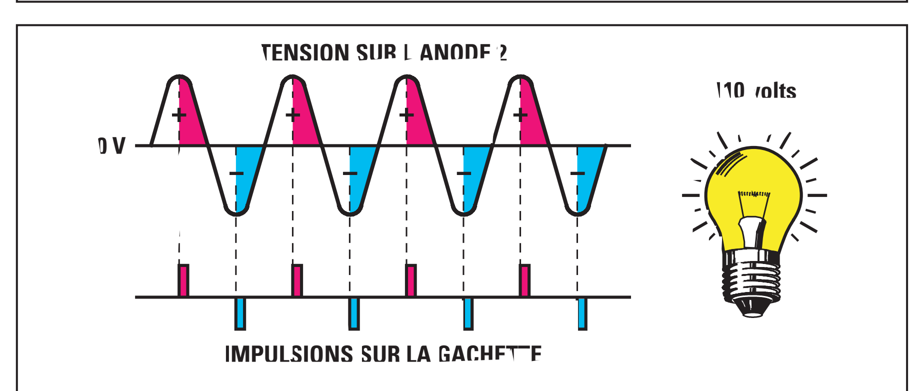


Figure 555 : Si on excite la gâchette à l'aide d'une impulsion positive peu après que la demi-alternance positive ait accompli la moitié de son cycle et à nouveau lorsque le cycle de la demi-alternance négative ait accompli la moitié de son cycle, on prélèvera alors une tension égale à 110 volts sur l'anode 2.

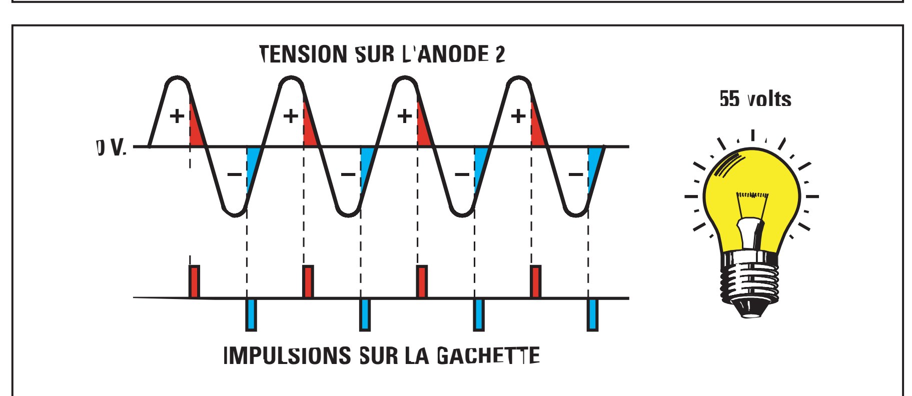


Figure 556 : Si on excite la gâchette à l'aide d'une impulsion positive lorsque la demi-alternance positive a déjà accompli les 3/4 de son cycle et ensuite lorsque le cycle de la demi-alternance négative a déjà accompli les 3/4 de son cycle, on prélèvera alors une tension égale à 55 volts sur l'anode 2.

- Si on applique une impulsion positive sur sa gâchette à l'instant précis où la demi-alternance positive de 0 volt commence à monter, le triac sera excité instantanément et restera excité jusqu'à ce que la demi-alternance positive redescende à 0 volt pour inverser sa polarité (voir figure 553).

- Si on applique une impulsion positive sur sa gâchette à l'instant précis ou la demi-alternance négative de 0 volt commence à descendre, le triac sera excité instantanément et restera excité jusqu'à ce que la demi-alternance négative redescende à 0 volt pour inverser sa polarité.

Donc, si on applique des impulsions d'excitation sur la gâchette, à l'instant précis où les deux demi-alternances changent de polarité, sur l'anode 2, on prélève deux demi-alternances complètes, la valeur de la tension efficace reste invariablement de 220 volts (voir figure 553).

Si les impulsions que l'on applique sur la gâchette arrivent en retard par rapport aux deux demi-alternances présentes sur l'anode 2, on parviendra automatiquement à retirer une partie de leur aire.

En fait, si au moment où la demi-alternance positive de 0 volt commence à monter, l'impulsion positive voulue n'atteint pas sa gâchette, le triac n'étant pas excitée, il ne laissera passer aucune tension.

Si l'impulsion d'excitation positive atteint sa gâchette, lorsque la demi-alternance positive a déjà parcouru la moitié de son trajet (voir figure 555), le triac laissera passer la moitié seulement de la demi-alternance positive.

Si l'impulsion d'excitation négative atteint sa gâchette, lorsque la demi-alternance négative a déjà parcouru la moitié de son trajet (voir figure 555), le triac laissera passer la moitié seulement de la demi-alternance négative.

Si on prélève deux moitiés de demi-alternances sur l'anode 2, la valeur des volts efficaces n'est plus de 220 volts, mais de 110 volts.

Si on veut encore réduire la valeur de la tension, on devra davantage retarder les impulsions d'excitation sur la gâchette (voir figure 556) par rapport au passage de 0 volt des deux demi-

alternances et, de cette façon, les 220 volts efficaces descendront à 80, 50 ou 30 volts efficaces.

Ceci dit, nous vous expliquerons comment on parvient à retarder ces impulsions sur la gâchette du triac.

Schéma électrique

Comme vous pouvez le remarquer en observant le schéma électrique de la figure 557, le potentiomètre R1 et le condensateur C1 sont reliés en parallèle à l'anode 2 et à l'anode 1 du triac.

On prélève, au point de jonction de R1 et C1 et par l'intermédiaire de la résistance R2, la tension d'excitation qui atteindra la gâchette du triac en passant à travers la diode diac.

La tension alternative appliquée aux broches du potentiomètre R1 est utilisée pour charger le condensateur C1 avec un retard qui pourra varier en modifiant la valeur ohmique du potentiomètre.

Si on règle le potentiomètre sur sa valeur de résistance minimale, le condensateur se chargera très rapidement, les impulsions d'excitation atteindront alors la gâchette du Triac sans aucun retard.

Si on règle le potentiomètre sur sa valeur de résistance maximale, le condensateur se chargera beaucoup plus lentement, les impulsions d'excitation atteindront alors la gâchette du triac en retard par rapport au passage par 0 des deux demi-alternances.

Si on règle ce potentiomètre d'un extrême à l'autre, on parviendra à faire varier d'un minimum à un maximum le temps de charge du condensateur C1 et, par conséquent, à retarder les impulsions d'excitation sur la gâchette (voir les figures 554, 555 et 556).

A présent, nous devons expliquer la fonction de la diode diac reliée en série à la gâchette.

On peut comparer cette diode à une valve de sécurité comme celles présentes sur toutes les cocottes à pression utilisées en cuisine.

Comme vous le savez probablement déjà, lorsque la pression à l'intérieur de ces cocottes atteint une certaine valeur, cette valve de sécurité s'ouvre en laissant s'échapper un jet de vapeur.

Sur le circuit de la figure 557, la diode diac opère la même fonction.

Normalement, cette diode ne laisse passer aucune tension tant que la tension présente sur les deux condensateurs C1 et C2 n'atteint pas une valeur plus que suffisante pour amorcer le triac.

Lorsque les deux condensateurs se seront chargés complètement, la diode diac reversera sur la gâchette tout le courant emmagasiné par les condensateurs.

Etant donné que cette diode diac est bidirectionnelle, elle laissera passer vers la gâchette les impulsions de polarité positive ainsi que celles de polarité négative.

Après avoir expliqué comment on peut exciter le triac en retard par rapport

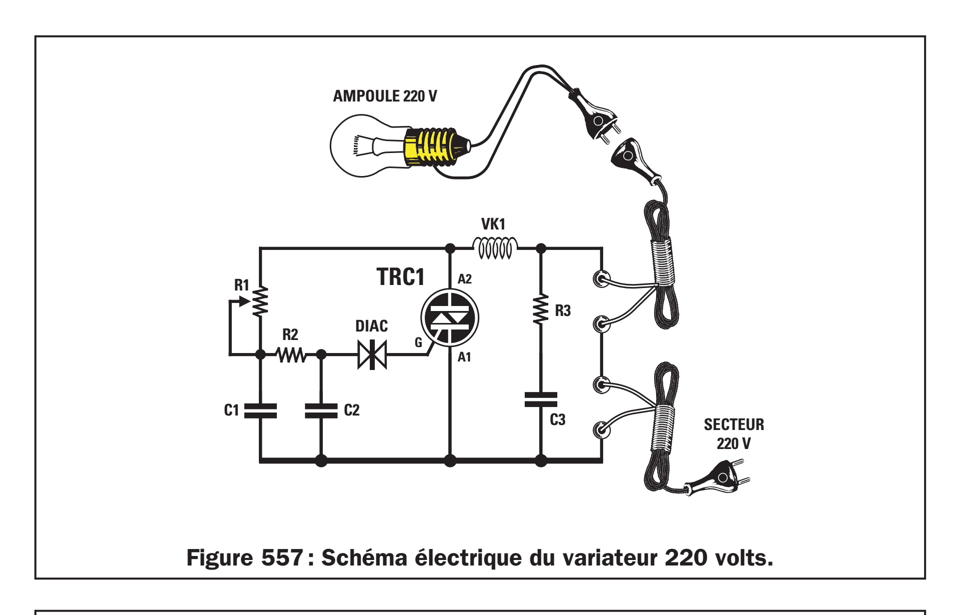


Figure 557 : Schéma électrique du variateur 220 volts.

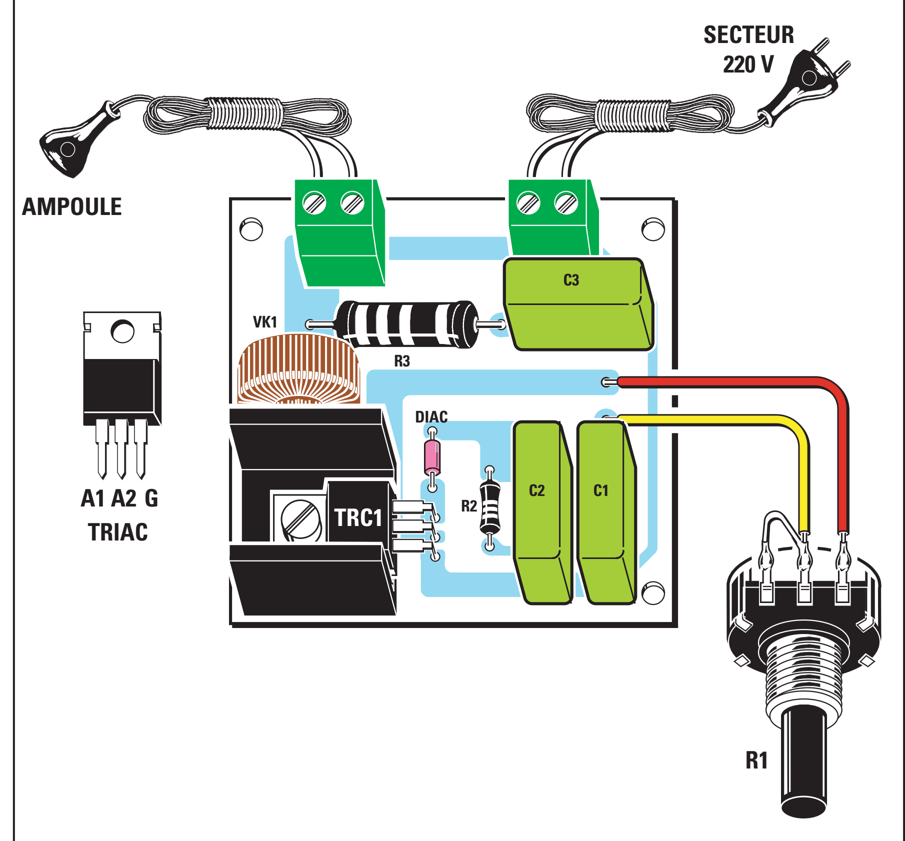


Figure 558a : Schéma d'implantation des composants du variateur. Le corps du triac doit être placé sur le petit radiateur de refroidissement en forme de U. Il est possible de relier en parallèle des ampoules de 25, 60, 100, 150 et 200 watts ou plus, à la sortie de ce circuit (ne pas dépasser 300 watts).

aux deux demi-alternances de la tension alternative, nous pouvons à présent expliquer à quoi sert ce composant référencé VK1 que l'on trouve appliqué sur l'anode 2.

Ce composant est un bobinage enroulé sur un noyau en ferrite qui, associée à R3 et C3, sert à éliminer tous les parasites générés chaque fois que le triac est excité ou désexcité.

Sans ce filtre antiparasite, chaque radio, chaque téléviseur et chaque amplificateur se trouvant dans le voisinage, pourrait capter des parasites identiques à ceux générés par l'allumage ou l'extinction d'une ampoule ou de n'importe quel appareil électrique.

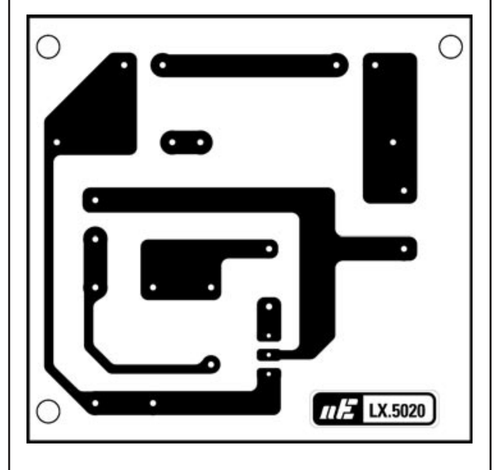


Figure 558b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé.

Liste des composants du LX.5020

R1	=	470 kΩ pot. lin.
R2	=	5,6 kΩ 1/4 W
R3	=	100 Ω 1 W
C1	=	47 nF pol. 400 V
C2	=	47 nF pol. 400 V
C3	=	100 nF pol. 400 V
VK1	=	Self antiparasite
DIAC	=	Diac
TRC1	=	Triac 500 V 5 A

Réalisation pratique

Pour réaliser ce montage, vous devez réaliser ou vous procurer le circuit imprimé donné en figure 558b et réunir tous les composants de la liste.

Vous pouvez commencer le montage en insérant la diode diac à l'emplacement mis en évidence sur la figure 558, sans respecter de polarité, étant donné que ce composant est bidirectionnel.

Poursuivez le montage en insérant les résistances R2 et R3, puis les trois condensateurs polyesters C1, C2 et C3, ainsi que les deux borniers à 2 pôles qui vous serviront, l'un à relier le cordon d'alimentation de 220 volts et l'autre, pour relier le cordon secteur à raccorder à l'ampoule de laquelle on veut varier la luminosité.

Après avoir inséré tous les composants, vous pouvez prendre le triac, replier ses broches en L à l'aide d'une paire de pinces puis, après l'avoir placé contre le radiateur de refroidissement en forme de U, vous pouvez le fixer sur le circuit imprimé à l'aide d'une vis et d'un écrou.

Soudez ensuite ses broches sur les pistes en cuivre du côté opposé du circuit imprimé.

Insérez les broches de la self d'antiparasitage VK1 dans les deux trous qui se trouvent à côté du radiateur.

Pour compléter le montage, fixez le potentiomètre R1 sur le couvercle du boîtier, après en avoir raccourci son axe pour conserver son bouton le plus près possible du boîtier.

Une fois le potentiomètre fixé, soudez deux petits morceaux de fil sur ses broches, en reliant les extrémités aux trous placés à côté des condensateurs C1 et C3, comme cela apparaît clairement sur la figure 558.

Dans les trous des deux borniers, vous devez insérer les extrémités du cordon d'alimentation 220 volts et du cordon pour l'ampoule, après avoir retiré environ 1 cm de gaine plastique isolante.

Après avoir fixé le circuit imprimé à l'intérieur du boîtier à l'aide de vis autotaraudeuses, vous pouvez le fermer et vérifier le fonctionnement du circuit.

Insérez la prise d'une lampe de chevet ou de bureau dans la prise femelle, puis relier la prise mâle au secteur.

Comme vous pouvez le constater, il suffira de tourner le bouton du potentiomètre pour faire varier la luminosité de l'ampoule du minimum au maximum.

◆ **G. M.**

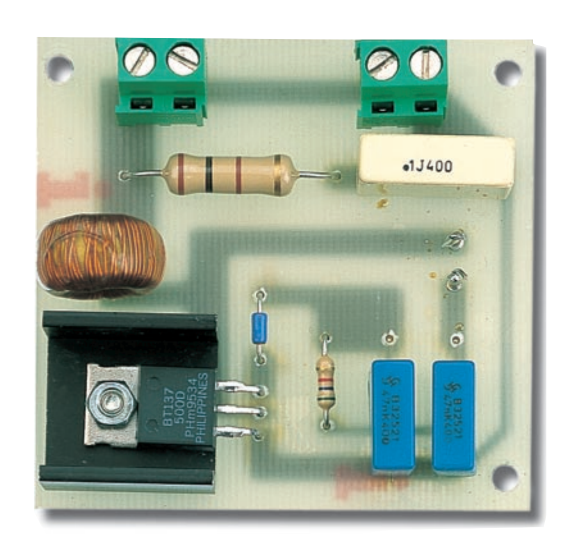


Figure 559 : A gauche, la photo du projet tel qu'il se présente une fois le montage terminé. La diode diac, dont le corps est en verre, est bidirectionnelle, il n'est donc pas nécessaire de respecter une polarité.



Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 558 pour réaliser le variateur simple pour ampoules 220 volts LX.5019, y compris le circuit imprimé sérigraphié, le bouton du potentiomètre P1, deux cordons secteur ainsi que le boîtier : 120 F. Le circuit imprimé seul : 18 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

NOTES

Lumières psychédéliques pour ampoules 12 volts LX.5021

Le circuit "Lumières psychédéliques" gère le niveau d'éclairage de trois ampoules de couleurs différentes en fonction du son de la musique. Ce circuit est identique à celui installé dans les discothèques, avec la seule et unique différence que, dans notre montage, on utilise de petites ampoules de 12 volts au lieu des habituels projecteurs 220 volts. Ce montage est une application de la leçon sur les thyristors et les triacs.



Figure 560 : Voici comment se présente, une fois terminé, le boîtier pour lumières psychédéliques capable de piloter des ampoules de 12 volts.

Comme vous le savez probablement déjà, les lumières psychédéliques sont utilisées dans toutes les discothèques pour allumer des lampes de couleur rouge, bleue et jaune au rythme de la musique. Donc, si vous construisez ce montage, vous pourrez transformer votre chambre en petite "boîte de nuit" !

Pour ce montage, nous n'avons pas utilisé les lampes très puissantes des discothèques, mais de petites ampoules de 12 volts, car le but est essentiellement de vous montrer comment il est possible d'allumer une ampoule de couleur rouge avec les notes basses, une ampoule de couleur bleue avec les médiums et une ampoule jaune avec les notes aiguës.

Pour exciter les triacs qui se trouvent dans ce montage, nous n'avons pas utilisé d'impulsions déphasées, comme nous l'avions fait pour le montage précédent, le LX.5019, mais une tension continue prélevée sur les broches de sortie de trois amplificateurs opérationnels référencés IC1-B, IC1-C et IC1-D.

Schéma électrique

Commençons la description du schéma électrique de la figure 561a par le microphone électret (MICRO) qui permet de transformer les ondes sonores captées en signaux électriques.

A l'intérieur de ce microphone se trouve un transistor à effet de champ (FET) permettant d'amplifier les signaux captés. Donc, pour le faire fonctionner, il est nécessaire



de l'alimenter avec une tension positive de 8 volts, qui sera prélevée aux bornes de la résistance R2.

On récupère le signal BF fourni par le microphone par l'intermédiaire du condensateur électrolytique C2 et on l'applique sur la broche 3 du premier amplificateur (le symbole en forme de triangle), référencé IC1-A.

Cet amplificateur opérationnel se trouve à l'intérieur d'un circuit intégré référencé TL084 qui, comme on le voit dans la figure 561b, contient également 3 autres amplificateurs (triangles). Ces 4 amplificateurs opérationnels se retrouvent sur le schéma électrique avec les références IC1-A, IC1-B, IC1-C et IC1-D.

Dans ce montage, l'opérationnel IC1-A est utilisé pour amplifier le signal capté par le microphone.

Le potentiomètre R5 relié, par l'intermédiaire de la résistance R4, à la broche 2 de IC1-A, est utilisé pour faire varier la sensibilité, c'est-à-dire pour déterminer combien de fois on veut amplifier le signal capté par le microphone.

Si on tourne le potentiomètre de façon à court-circuiter toute sa résistance, le signal sera amplifié environ 200 fois, tandis que, si on le règle sur sa valeur de résistance maximale, le signal sera amplifié 20 fois seulement.

Ce potentiomètre devra être réglé en fonction du niveau sonore qu'il y a dans la pièce.

En présence de signaux faibles, il faudra augmenter le gain pour parvenir à allumer les ampoules. En présence de signaux forts, il faudra, au contraire, réduire le gain pour éviter que les ampoules ne restent toujours allumées.

Le signal amplifié que l'on prélève sur la broche de sortie 1 de IC1-A, est appliqué aux bornes des trois potentiomètres référencés R10, R17 et R26 qui nous serviront pour doser, en fonction du morceau musical, la sensibilité sur les notes aiguës, médiums et basses.

Les aiguës

On prélève le signal BF qui nous servira pour allumer l'ampoule réservée aux notes aiguës sur le curseur du potentiomètre R10.

Comme vous pouvez le remarquer, ce signal atteint la base du transistor TR1 en passant à travers les deux condensateurs C7 et C8 de 8,2 nanofarads. Le point central entre C7 et C8 rejoint l'émetteur de TR1 par l'intermédiaire de la résistance R11 de 4,7 kilohms.

Ces trois composants, ainsi montés, permettent de réaliser un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure est d'environ 3 000 Hz.

Cela signifie que, sur l'émetteur du transistor TR1, on ne retrouvera que les fréquences des notes aiguës supérieures à 3 000 Hz. Toutes les fréquences inférieures à 3 000 Hz seront automatiquement éliminées.

Les fréquences des notes aiguës que l'on prélève sur l'émetteur de TR1, seront redressées par la diode DS1 et filtrées par le condensateur électrolytique C9.

La tension continue obtenue sera appliquée sur la broche d'entrée 10 du circuit intégré IC1-B, utilisé, dans ce montage, pour fournir une tension de polarité positive sur la broche de sortie 8, plus que suffisante pour piloter la gâchette du triac TRC1.

Etant donné que l'anode 2 de ce triac est alimentée par une tension alternative, lorsque la tension d'excitation fournie par les notes aiguës atteint la gâchette, l'ampoule s'allume, alors que lorsque cette tension vient à manquer, parce qu'il n'y a pas de notes aiguës dans le morceau musical, l'ampoule s'éteint.

Les médiums

On prélève le signal BF qui nous servira pour allumer l'ampoule réservée aux notes médiums sur le curseur du potentiomètre R17.

Ici, le signal atteint la base du transistor TR2 en passant à travers les deux condensateurs C11 et C12 de 1 000 picofarads et les deux résistances R21 et R22 de 18 kilohms. Le point central entre C11 et C12 ainsi que le point central entre R21 et R22 rejoignent l'émetteur du transistor TR2 par l'intermédiaire, respectivement, de la résistance R18 de 33 kilohms et du condensateur C13 de 4,7 nanofarads.

Ces six composants, ainsi montés, permettent de réaliser un filtre passe-bande dont les limites de fréquences sont d'environ 300 Hz et 3 000 Hz.

Cela signifie que, sur l'émetteur du transistor TR2, on retrouvera les fréquences comprises entre 300 et 3 000 Hz seulement. Toutes les fréquences inférieures à 300 Hz ou supérieures à 3 000 Hz seront automatiquement éliminées.

Les fréquences des notes médiums, que l'on prélève sur l'émetteur de TR2, seront redressées par la diode DS2 et filtrées par le condensateur électrolytique C15.

La tension continue obtenue sera appliquée sur la broche 5 du circuit intégré IC1-C, utilisé, dans ce montage, pour fournir, sur la broche de sortie 7, une tension de polarité positive plus que suffisante pour piloter la gâchette du triac TRC2.

Lorsque la tension d'excitation fournie par les médiums atteint la gâchette de TRC2, l'ampoule s'allume, alors que

lorsqu'elle vient à manquer, parce qu'il n'y a pas de médiums dans le morceau musical, l'ampoule s'éteint.

Les basses

On prélève le signal BF qui nous servira pour allumer l'ampoule réservée aux notes basses sur le curseur du potentiomètre R26.

Dans ce dernier cas, le signal atteint la base du transistor TR3 en passant à travers les deux résistances R27 et R28 de 10 kilohms. Le point central entre R27 et R28 rejoint l'émetteur de TR3 par l'intermédiaire du condensateur C17 de 68 nanofarads.

Ces trois composants, ainsi montés, permettent de réaliser un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est d'environ 300 Hz.

Cela signifie que, sur l'émetteur du transistor TR3, on retrouvera les fréquences inférieures à 300 Hz seulement. Toutes les fréquences supérieures seront automatiquement éliminées.

Toutes les fréquences des basses, que l'on prélève sur l'émetteur de TR3, seront redressées par la diode DS3 et filtrées par le condensateur C19.

La tension continue obtenue sera appliquée sur la broche d'entrée 12 du circuit intégré IC1-D, utilisé, dans ce montage, pour fournir une tension de polarité positive sur la broche de sortie 14, plus que suffisante pour piloter la gâchette du triac TRC3.

Lorsque la tension d'excitation fournie par les notes basses atteint la gâchette du TRC3, l'ampoule s'allume et lorsque la tension vient à manquer, parce qu'il n'y a pas de basses dans le morceau musical, l'ampoule s'éteint.

La tension de commande

Il ne nous reste qu'à expliquer comment on fait pour prélever une tension positive sur les broches de sortie des circuits intégrés IC1-B, IC1-C et IC1-D, en présence des signaux aigus, médiums ou graves, pour exciter les triacs.

Comme vous pouvez le voir sur le schéma, sur les deux broches d'entrée de chaque amplificateur opérationnel, apparaissent les symboles "+" et "–", qui ne servent pas à indiquer la polarité mais ceci :

- Si la valeur de la tension appliquée sur la broche "+" est supérieure à la valeur de tension présente sur la

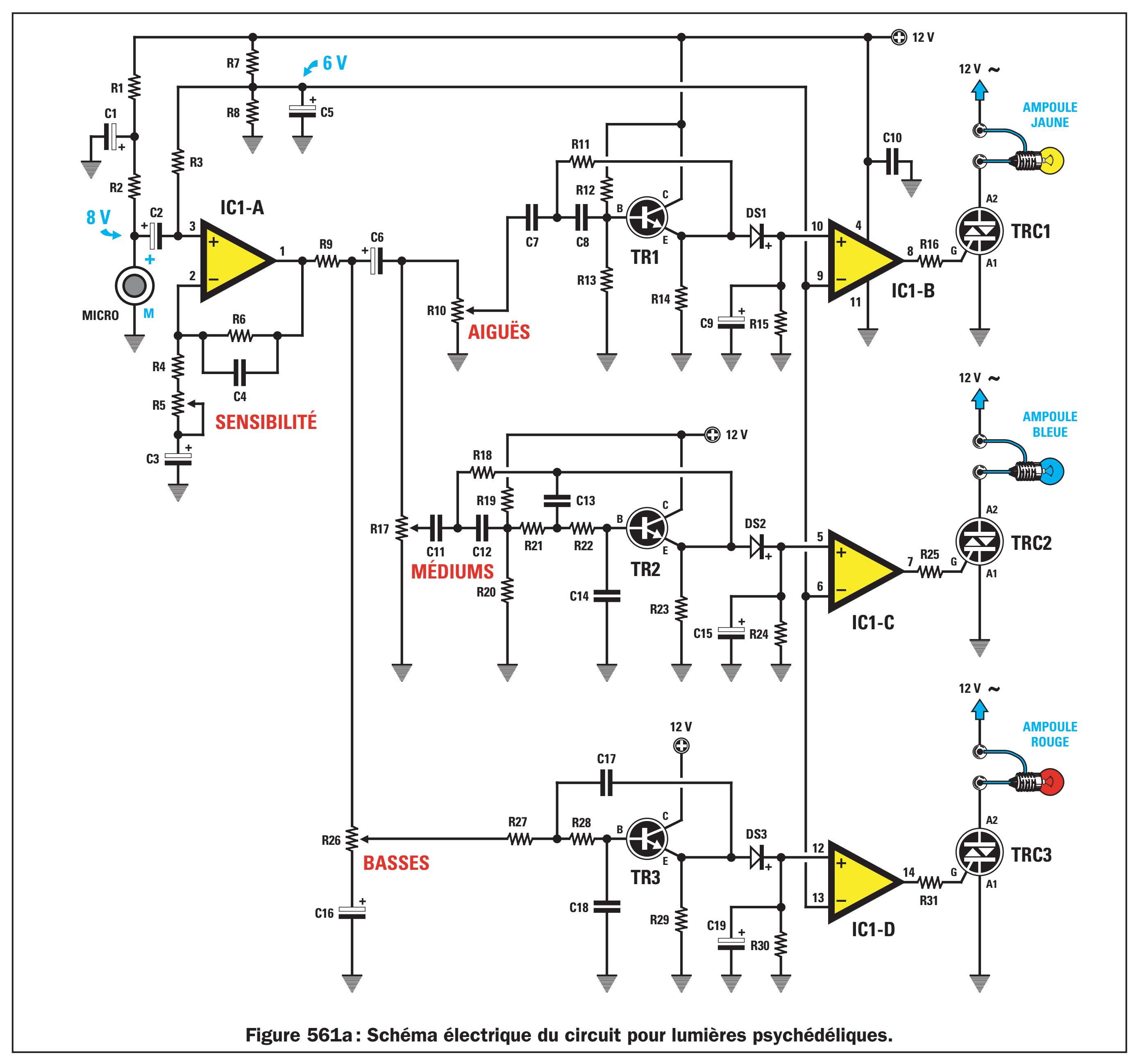


Figure 561a : Schéma électrique du circuit pour lumières psychédéliques.

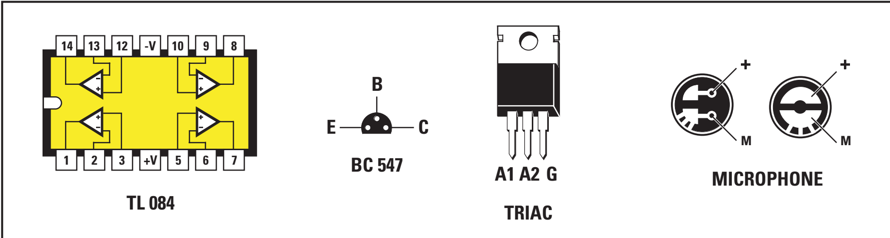


Figure 561b : Brochage du circuit intégré IC1 (TL084) vu du dessus, des BC547 vus de dessous et des triacs vus de face. Connexions +/M du microphone vues de derrière. Remarquez les 3 fines pistes qui relient la broche "M" à la carcasse métallique du microphone.

broche "–", on trouvera alors une tension positive sur la sortie du circuit.

- Si la valeur de la tension appliquée sur la broche "+" est inférieure à la valeur de tension présente sur la broche "–", on ne trouvera alors aucune tension sur la sortie du circuit.

Les broches marquées d'un "–" des trois circuits intégrés IC1-B, IC1-C et IC1-D sont polarisés avec une tension positive de 6 volts que l'on prélève à la jonction des deux résistances R7 et R8. Donc, lorsqu'une tension supérieure à 6 volts atteint les broches marquées du signe "+" (tension redressée par les diodes DS1, DS2 et DS3), on trouvera, sur la sortie des trois circuits, une tension positive qui permettra d'exciter le triac et, par conséquent, d'allumer l'ampoule reliée à l'anode A2.

Lorsque la tension qui atteint les broches marquées d'un "+" est inférieure à 6 volts, aucune tension n'apparaît sur la sortie des trois circuits et, le triac n'étant pas excité, l'ampoule reste éteinte.

Pour conclure

Vous venez certainement de constater que ce schéma, qui pouvait tout d'abord vous sembler très complexe et incompréhensible, n'a plus, à présent, aucun secret pour vous.

Pour compléter cette description, ajoutons que ces trois transistors TR1, TR2 et TR3 sont de type NPN car, comme nous vous l'avons déjà expliqué dans la leçon numéro 15, la flèche de leur émetteur est dirigée vers l'extérieur.

Les transistors que l'on peut utiliser sont des BC547, qui peuvent être remplacés par leurs équivalents, les BC238.

Pour alimenter ce circuit, on utilise l'étage d'alimentation de la figure 562 dans lequel se trouve un transformateur T1 muni de deux secondaires, dont l'un fournit 12 volts 1,5 ampère et l'autre, 15 volts 0,5 ampère.

La tension alternative de 12 volts 1,5 ampère sert à alimenter les ampoules colorées reliées aux triacs, tandis que la tension alternative de 15 volts 0,5 ampère est redressée par le pont RS1, qui fournira, en sortie, une tension continue d'environ 20 volts.

Cette tension, après avoir été filtrée par le condensateur électrolytique C20, sera stabilisée sur une valeur de 12 volts par l'intermédiaire du circuit intégré IC2, référencé µA7812.

La tension stabilisée de 12 volts sert à alimenter le circuit intégré TL084, ainsi que tous les transistors présents dans le circuit de la figure 561 et la diode LED DL1, utilisée comme ampoule témoin pour savoir quand le circuit est allumé ou éteint.

Réalisation pratique

Tous les éléments de ce montage sont assez communs et peuvent se trouver, sans grande difficulté, dans le commerce. Néanmoins, pour ceux qui ne disposent pas du temps nécessaire à la recherche des composants et à la réalisation du circuit imprimé double face, il existe un kit complet, référencé LX.5021, qui, une fois monté, donnera le résultat visible en figure 560.

Le circuit imprimé professionnel est un double face à trous métallisés, sérigraphié. Si vous le réalisez vous-même (voir figures 563b et 563c), n'oubliez pas qu'il faut raccorder entre elles les pistes qui ont des points communs des deux côtés du substrat.

Lorsque vous disposerez du circuit imprimé, vous pouvez commencer le montage en insérant tout d'abord le support du circuit intégré IC1 puis en soudant bien toutes ses broches. Vérifiez bien qu'aucune goutte de soudure

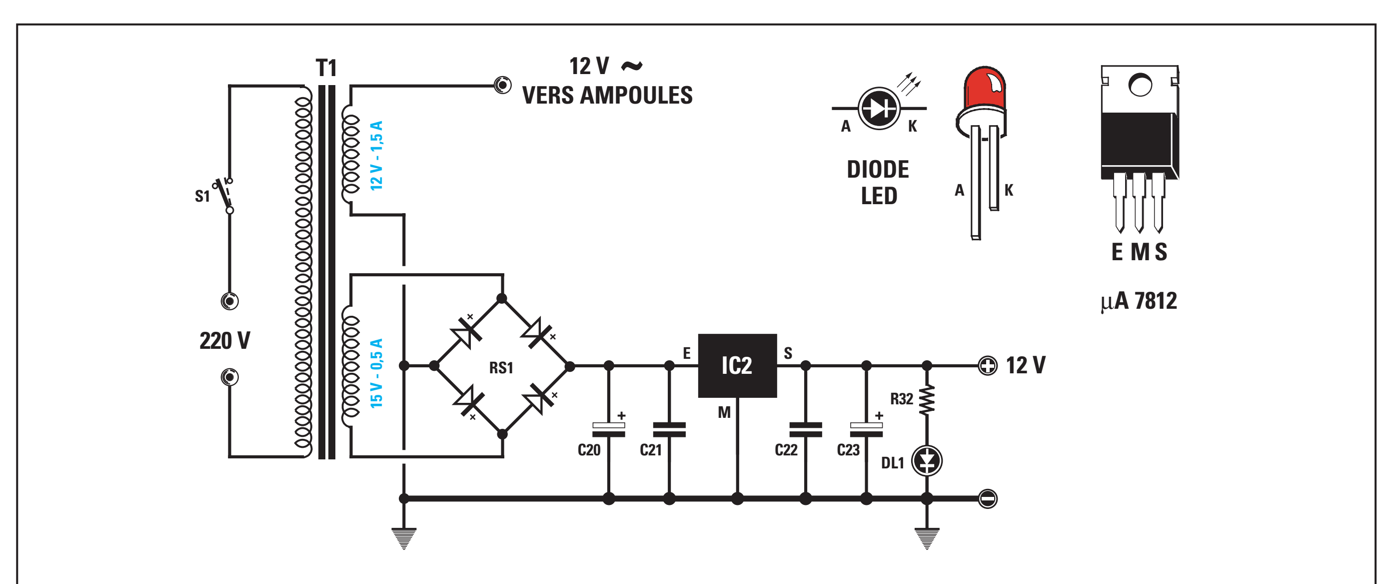


Figure 562 : Schéma électrique de l'étage d'alimentation. Comme vous pouvez le voir sur la figure 563a, tous les composants de cet étage sont insérés dans le même circuit imprimé que celui des lumières psychédéliques.

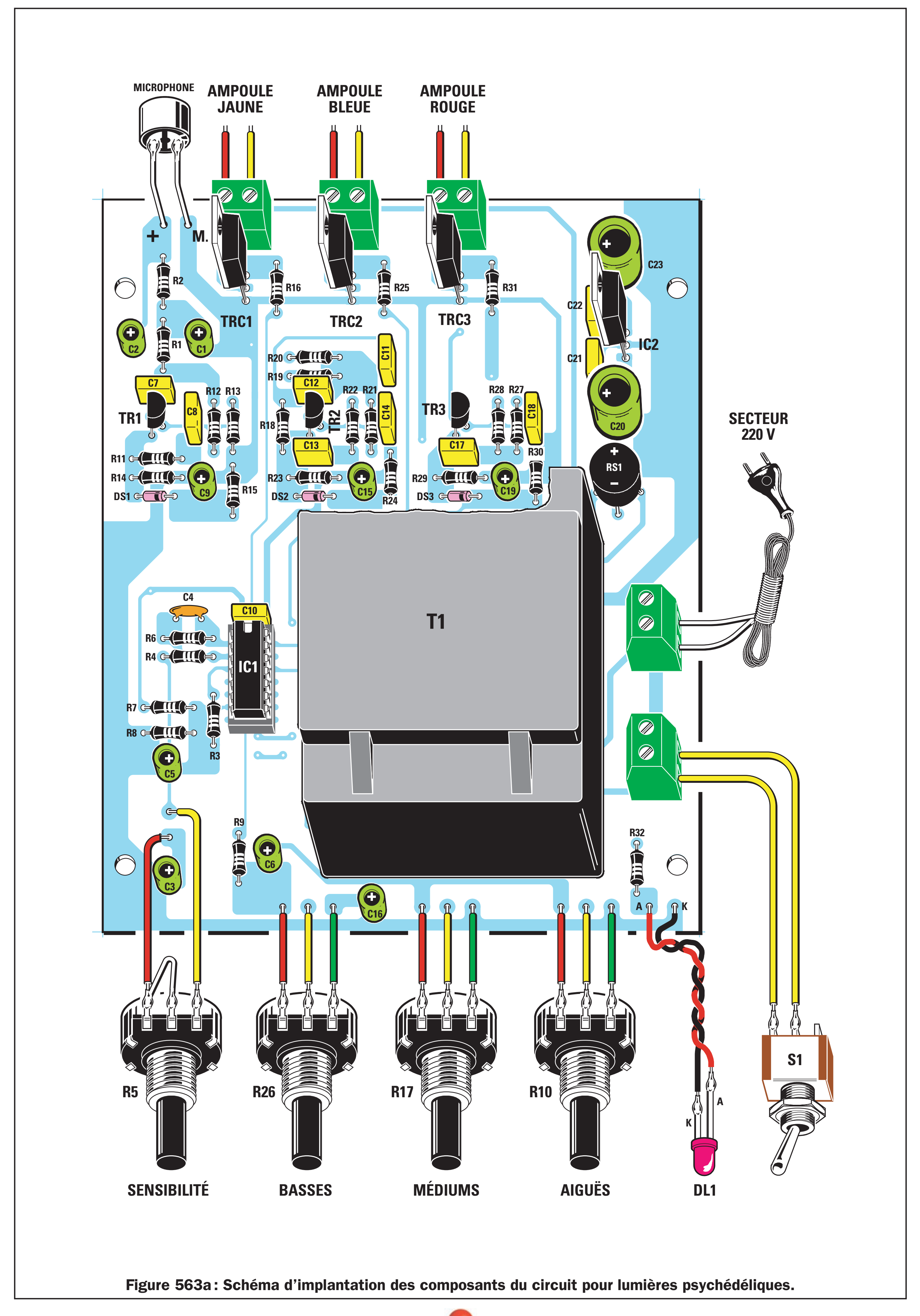


Figure 563a : Schéma d'implantation des composants du circuit pour lumières psychédéliques.

Liste des composants LX.5021

R1 = 1 kΩ 1/4 W	C2 = 10 µF électrolytique	C22 = 100 nF polyester
R2 = 10 kΩ 1/4 W	C3 = 10 µF électrolytique	C23 = 470 µF électrolytique
R3 = 47 kΩ 1/4 W	C4 = 10 pF céramique	RS1 = Pont redresseur 100 V 1 A
R4 = 1 kΩ 1/4 W	C5 = 10 µF électrolytique	DS1 = Diode 1N4150
R5 = 47 kΩ pot. lin.	C6 = 10 µF électrolytique	DS2 = Diode 1N4150
R6 = 1 MΩ 1/4 W	C7 = 8,2 nF polyester	DS3 = Diode 1N4150
R7 = 10 kΩ 1/4 W	C8 = 8,2 nF polyester	DL1 = LED rouge
R8 = 10 kΩ 1/4 W	C9 = 1 µF électrolytique	TR1 = NPN BC547
R9 = 100 Ω 1/4 W	C10 = 100 nF polyester	TR2 = NPN BC547
R10 = 47 kΩ pot. lin.	C11 = 10 nF polyester	TR3 = NPN BC547
R11 = 4,7 kΩ 1/4 W	C12 = 10 nF polyester	TRC1 = Triac 500 V 5 A
R12 = 22 kΩ 1/4 W	C13 = 4,7 nF polyester	TRC2 = Triac 500 V 5 A
R13 = 22 kΩ 1/4 W	C14 = 2,2 nF polyester	TRC3 = Triac 500 V 5 A
R14 = 1 kΩ 1/4 W	C15 = 1 µF électrolytique	IC1 = Intégré TL084
R15 = 100 kΩ 1/4 W	C16 = 10 µF électrolytique	IC2 = Régulateur µA7812
R16 = 820 Ω 1/4 W	C17 = 68 nF polyester	T1 = transfo. 25 W (T025.03)
R17 = 47 kΩ pot. lin.	C18 = 33 nF polyester	Prim. 220 V - sec.
R18 = 33 kΩ 1/4 W	C19 = 1 µF électrolytique	15 V 0,5 A - 12 V 1,5 A
R19 = 82 kΩ 1/4 W	C20 = 1 000 µF électrolytique	S1 = Interrupteur
R20 = 120 kΩ 1/4 W	C21 = 100 nF polyester	MICRO = Micro électret préamp.
R21 = 18 kΩ 1/4 W		
R22 = 18 kΩ 1/4 W		
R23 = 1 kΩ 1/4 W		
R24 = 100 kΩ 1/4 W		
R25 = 820 Ω 1/4 W		
R26 = 47 kΩ pot. lin.		
R27 = 10 kΩ 1/4 W		
R28 = 10 kΩ 1/4 W		
R29 = 1 kΩ 1/4 W		
R30 = 100 kΩ 1/4 W		
R31 = 820 Ω 1/4 W		
R32 = 1 kΩ 1/4 W		
C1 = 10 µF électrolytique		

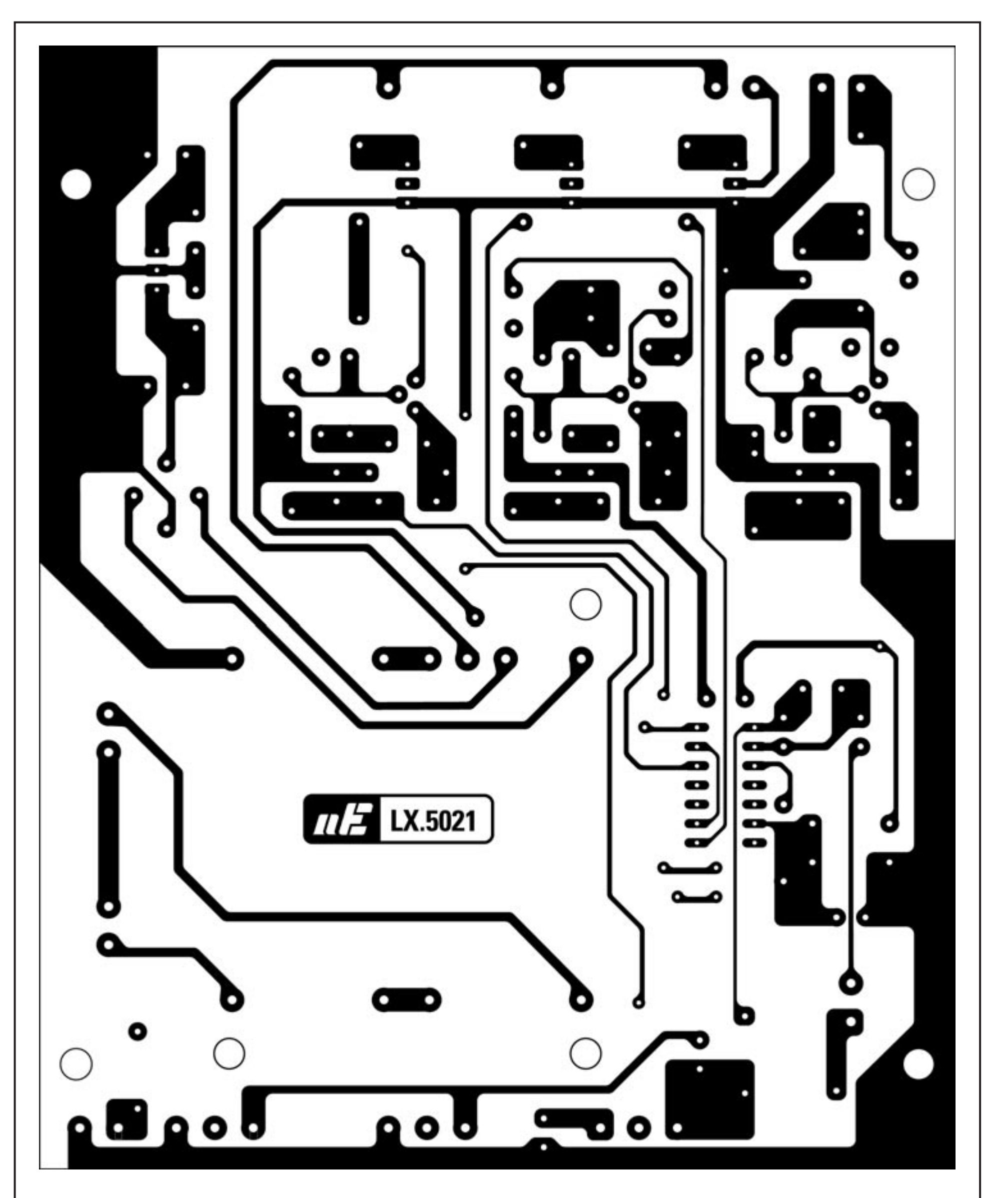


Figure 563b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté pistes du montage pour lumières psychédéliques.

ne vienne involontairement court-circuiter deux pistes voisines.

Une fois cette opération effectuée, vous pouvez insérer toutes les résistances en contrôlant attentivement leur valeur sur la liste des composants.

Après les résistances, vous pouvez monter les diodes au silicium DS1, DS2 et DS3, en insérant le côté de leur corps marqué d'une bague vers la droite, comme sur la figure 563a.

Si vous inversez l'une de ces diodes, le triac qui leur est relié ne pourra pas être excité et, par conséquent, l'ampoule restera toujours éteinte.

Poursuivez le montage en insérant le condensateur céramique C4 à côté de la résistance R6, puis tous les condensateurs polyester en contrôlant la valeur marquée sur leur corps.

Si vous ne réussissez pas à la déchiffrer, revenez à la leçon

numéro 3 et cherchez dans les tableaux 11 (figure 83) et 12 (figure 84) la valeur en picofarads correspondant à chacune des références marquées sur le corps de ces condensateurs.

Lorsque vous insérez les condensateurs électrolytiques, vous devez respecter la polarité +/– des deux pattes et, comme nous vous l'avons déjà expliqué dans les leçons précédentes, souvenez-vous que la patte positive est reconnaissable car plus longue que la négative.

Vous trouverez toujours le signe "–" marqué sur le corps des condensateurs électrolytiques.

Vous pouvez, à présent, monter le pont de redressement RS1, en insérant la broche marquée du signe "+" dans le trou placé à côté du condensateur électrolytique C20.

Nous conseillons de maintenir le corps du pont à une distance d'environ 5 ou 6 mm du circuit imprimé afin d'autoriser son refroidissement.

Après ce composant, vous pouvez insérer dans le circuit imprimé les trois transistors TR1, TR2 et TR3 sans en raccourcir les broches et en orientant le côté plat de leur corps vers la gauche.

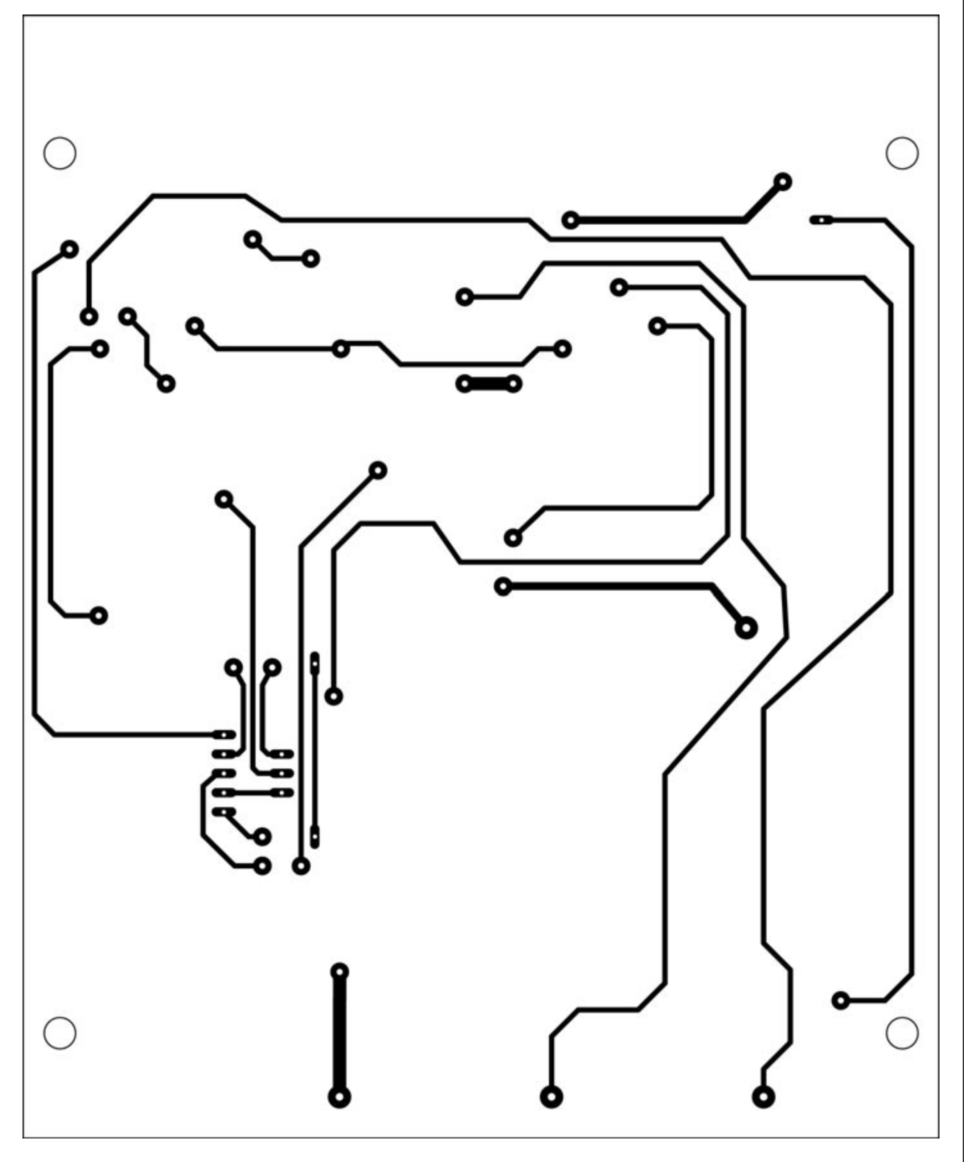


Figure 563c : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté composants. Attention, si vous réalisez le circuit vous-même, il vous faudra souder sur les deux faces toutes les pattes des composants ayant des pistes des deux côtés. N'oubliez pas les jonctions entre les deux faces là où il n'y a pas de composant.

Lorsque vous insérez les triacs (sur lesquels est marquée la référence BTA10), vous devez diriger le côté métallique de leur corps vers la gauche. Il en va de même concernant le circuit intégré stabilisateur IC2 (sur le corps duquel se trouve la référence L7812 ou bien uA7812).

Pour compléter le montage, insérez les cinq borniers à 2 pôles, puis le transformateur d'alimentation T1 en le fixant sur le circuit imprimé à l'aide de trois vis autotaraudeuses. Insérez ensuite tous les picots dans les points auxquels seront reliés les fils des potentiomètres, de la diode LED DL1 et du microphone.

Une fois toutes ces opérations effectuées, installez le circuit intégré IC1, c'est-à-dire le TL084, dans son support, en dirigeant son encoche-détrompeur vers le condensateur C10.

Si les deux lignes de broches de ce circuit intégré sont trop éloignées pour pouvoir entrer dans les emplacements du support, vous pouvez les rapprocher en appuyant légèrement chaque côté du corps du composant sur votre plan de travail.

Après avoir positionné toutes les broches du circuit intégré en correspondance de leurs emplacements respectifs sur le support, appuyez fortement pour bien l'enfoncer. Veillez bien à ce qu'aucune broche ne soit hors de son emplacement.

Montage dans le boîtier

Vous placerez le circuit imprimé dans un boîtier plastique après avoir fixé, sur la face avant, les potentiomètres de sensibilité (voir R5), ainsi que les potentiomètres de contrôle des basses (voir R26), des médiums (voir R17) et des aiguës (voir R10), l'interrupteur d'alimentation S1 et la diode LED DL1.

Avant de fixer les potentiomètres, vous devez en raccourcir leurs axes de façon à pouvoir garder les boutons à 1 mm du panneau environ.

Vous devez souder des petits morceaux de fil sur les picots présents sur le circuit imprimé et raccorder leurs extrémités sur les broches des quatre potentiomètres, comme indiqué sur la figure 563a.

Lorsque vous reliez les fils vers la diode LED, vous devez respecter la polarité, donc le fil relié à la broche la plus longue devra être soudé sur le picot du circuit imprimé marqué de la lettre A.

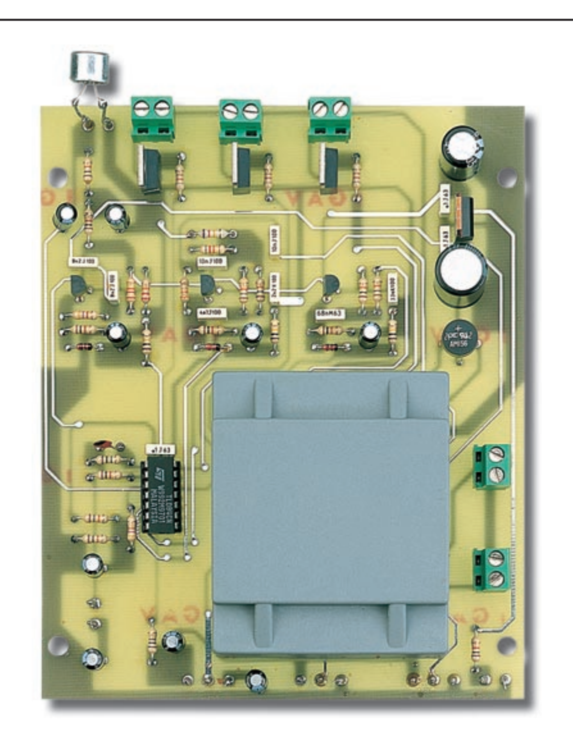


Figure 564 : Photo du circuit imprimé une fois tous les composants montés.

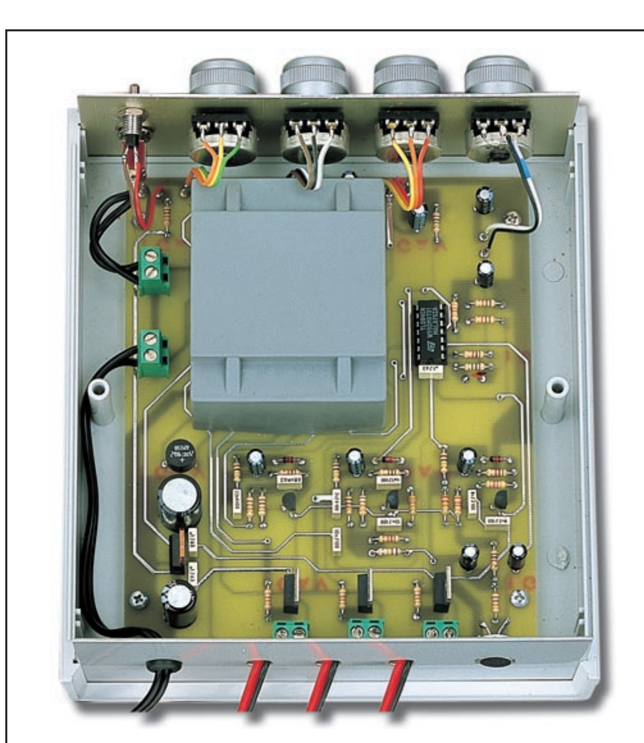


Figure 565 : Après avoir relié les potentiomètres à la face avant, connectez leurs broches au circuit imprimé comme nous l'avons illustré sur la figure 563a.

Si vous inversez involontairement ces deux fils, la diode LED ne s'allumera pas.

Prenez ensuite le microphone et soudez, sur les deux pistes qui se trouvent sur son arrière (voir figure 563a), deux petits morceaux de fil rigide de 1 mm de diamètre, en les repliant en L pour pouvoir les souder sur les deux picots placés en haut sur la gauche du circuit imprimé.

Le corps du microphone doit dépasser de l'arrière du boîtier de quelques millimètres. Pour le bloquer sur le panneau, vous pouvez utiliser un peu de pâte à modeler ou de silicone.

Important : A l'arrière du micro, se trouvent deux pistes dont l'une est reliée électriquement au métal qui recouvre le micro (masse), tandis que l'autre, qui est isolée, est la broche positive (voir figure 561b).

Le fil de masse doit être relié à la broche du circuit imprimé marquée par la lettre "M" et le fil positif à la broche du circuit imprimé marquée du signe "+".

Reliez les deux fils qui alimenteront les ampoules de 12 volts aux borniers placés à côté des triacs. Vous pourrez acheter ces dernières dans n'importe quel magasin d'électricité ou les trouver dans le rayon électricité de n'importe quelle grande surface.

Ces ampoules n'étant pas colorées à l'origine, vous pouvez enrouler autour de leur corps un morceau de film transparent de couleur rouge, bleue et jaune que vous trouverez dans les magasins spécialisés dans les fournitures pour le dessin.

Après avoir relié le cordon d'alimentation au bornier des 220 volts, vous pouvez allumer le circuit par l'intermédiaire de l'interrupteur S1 et, si vous n'avez commis aucune erreur, vous verrez la diode LED s'allumer immédiatement.

Vous pourrez alors essayer votre montage de lumières psychédéliques en plaçant le micro à environ 10 ou 15 cm du haut-parleur d'une chaîne Hi-Fi, d'une radio ou d'un téléviseur transmettant de la musique.

Au début, vous devez tourner les boutons des basses, des médiums et des aiguës à mi-course et régler celui de la sensibilité sur une position permettant aux trois ampoules de rester éteintes en l'absence de sons ou de bruits.

Dès que de la musique ou des voix se feront entendre dans le haut-parleur, les trois ampoules se mettront à clignoter avec plus ou moins d'intensité.

Si vous remarquez que l'ampoule des basses reste toujours allumée et que celle des aiguës reste toujours éteinte, vous devez tourner le potentiomètre des basses dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre et celui des aiguës dans le sens des aiguilles d'une montre.

Avec un peu de pratique, vous parviendrez rapidement à trouver la position sur laquelle régler les quatre boutons des potentiomètres pour obtenir un allumage correct des trois ampoules.

Comme vous pourrez le remarquer, même en parlant ou en chantant à une certaine distance du micro, l'ampoule rouge clignotera en présence des notes basses, l'ampoule bleue en présence des médiums et la jaune, en présence des notes aiguës.

◆ **G. M.**

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 563a pour réaliser les lumières psychédéliques pour ampoules 12 volts LX.5021, y compris le circuit imprimé double face à trous métallisés sérigraphié, les 4 boutons, le cordon secteur ainsi que le boîtier avec face avant sérigraphiée : 465 F. Le circuit imprimé seul : 110 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Avant de commencer à évoquer les circuits intégrés digitaux, il est nécessaire d'expliquer la différence entre un signal analogique et un signal numérique.

Après avoir longuement expliqué le fonctionnement des différents transistors, des thyristors et des triacs, nous allons maintenant aborder les semi-conducteurs qui travaillent exclusivement avec des signaux digitaux et qui sont connus sous leurs noms de portes logiques : AND, OR, NAND, NOR et Inverter.

Sans ces semi-conducteurs, nous n'aurions pas d'ordinateur, ni de calculatrices de poche ni d'appareils utilisant uniquement des signaux digitaux comme, par exemple, les montres à écran digital, les fréquencemètres, les multimètres digitaux, etc.

Dans cette leçon, vous apprendrez donc ce que signifie "niveau logique 1" et "niveau logique 0", vous apprendrez à utiliser la table de vérité des portes logiques et, comme toujours, vous pourrez vous exercer avec les portes logiques en réalisant les montages très simples que nous vous proposons par la suite.

Une fois que vous connaîtrez le fonctionnement des portes logiques, vous n'aurez aucune difficulté à suivre les leçons suivantes. Nous y affronterons des circuits intégrés digitaux un peu plus complexes qui vous permettront de réaliser ce que vous n'auriez jamais imaginé pouvoir construire un jour, après, somme toute, si peu de leçons.

Ce qui vous étonnera le plus, ce sera de pouvoir comprendre le rôle de chaque circuit intégré dans n'importe quel appareil numérique.

Signaux analogiques et digitaux

Signaux analogiques

On appelle signal analogique tout signal dont la tension varie de façon graduelle, c'est-à-dire que le signal commence avec une valeur de tension de 0 volt pour atteindre progressivement sa valeur maximale puis, toujours progressivement, redescendre à 0 volt, comme il advient pour les ondes de forme sinusoïdale, triangulaire ou en dents de scie (voir les figures 566, 567 et 568).

Ainsi, la tension alternative du courant à 220 volts, ainsi que tous les signaux basse fréquence que l'on prélève en sortie d'un microphone ou d'un amplificateur, sont des signaux analogiques.

Signaux digitaux

On appelle signal numérique tout signal dont la tension passe instantanément d'une valeur de tension de 0 volt à une valeur de tension maximale puis, toujours instantanément, redescend à 0 volt, comme il advient pour les ondes de forme carrée (voir figure 569).

Les deux valeurs extrêmes d'un signal numérique, c'est-à-dire 0 volt et sa

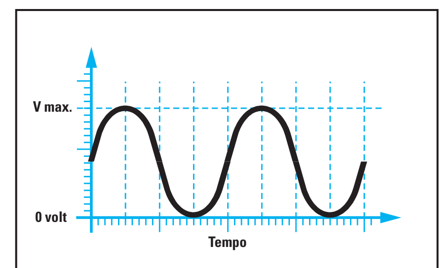


Figure 566 : Les ondes de formes sinusoïdales qui montent vers leur valeur maximale et redescendent vers leur valeur minimale, de façon graduelle, sont des signaux de type analogique.

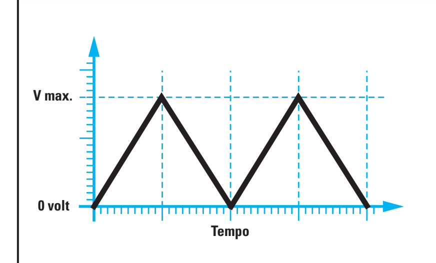


Figure 567 : Les ondes de forme triangulaire sont également considérées comme des signaux analogiques car elles atteignent leur valeur maximale et minimale de façon graduelle.

valeur maximale, sont appelées “niveaux logiques” (voir figure 570) :

Niveau logique bas = tension de 0 volt
Niveau logique haut = tension positive maximale

Dans certains textes, ces deux niveaux logiques sont indiqués à l’aide des lettres “L” et “H”, initiales des mots anglais “Low” (bas) et “Hight” (haut) :

Low = niveau logique bas = 0 volt
Hight = niveau logique haut = tension positive maximale

On préférera presque toujours indiquer les deux niveaux à l’aide des chiffres 0 et 1.

Niveau logique 0 = tension de 0 volt
Niveau logique 1 = tension positive maximale

Lorsque l’on nous dit que la broche d’un circuit intégré ou d’un transistor se trouve au niveau logique 0, cela signifie que nous devons le considérer comme si elle était reliée à la masse, c’est-à-dire au négatif de l’alimentation (voir figure 570).

Lorsqu’on nous dit que la broche d’un circuit intégré ou d’un transistor se trouve au niveau logique 1, cela signifie que nous devons la considérer comme si elle était reliée à la tension positive d’alimentation.

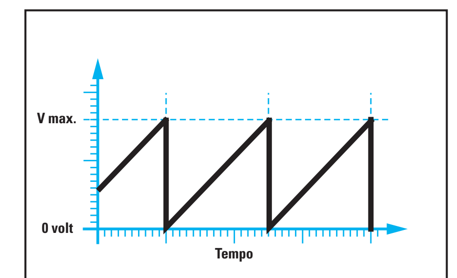


Figure 568 : Il en va de même pour les formes d’ondes en dents de scie qui montent de façon graduelle et redescendent brusquement vers la valeur minimale, 0 volt.

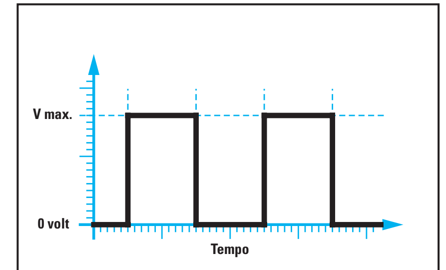


Figure 569 : Seules les ondes carrées, qui montent brusquement de leur valeur minimale à leur valeur maximale et vice-versa, sont définies comme étant des signaux dits numériques ou digitaux.

Dans ce cas-là, le niveau logique 1 aura une valeur égale à celui de la tension d’alimentation.

Donc, si un circuit intégré numérique est alimenté par une tension de 5 volts, son niveau logique 1 aura une valeur de 5 volts (voir figure 571).

S’il est alimenté par une tension de 12 volts, son niveau logique 1 aura une valeur de 12 volts (voir figure 572).

Ceci explique que les tensions maximales du niveau logique 1 ont une valeur égale à celle de la tension d’alimentation du circuit intégré.

Les portes logiques

On appelle les semi-conducteurs les plus simples, utilisés pour travailler avec des signaux digitaux, des “portes logiques”.

Pour vous aider à mieux comprendre, on peut comparer ces portes à de petits commutateurs capables de fournir sur leur broche de sortie, un niveau logique 1 ou bien 0, que l’on peut modifier en agissant sur les broches d’entrée.

Comme il existe 7 portes qui commutent les signaux digitaux de façon différente, pour les distinguer les unes des autres, on les a appelées :

INVERTER, NAND, AND, NOR, OR, NOR exclusif, OR exclusif.

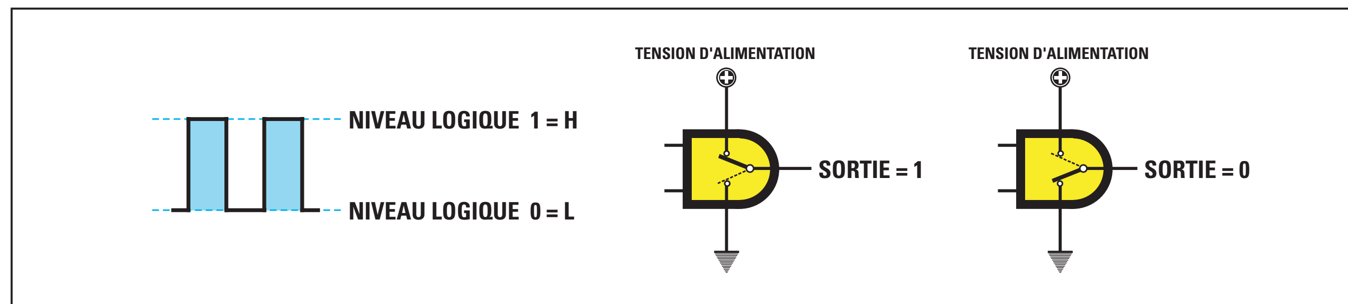


Figure 570 : La valeur positive maximale est définie comme “niveau logique 1” ou “niveau logique H”, tandis que la valeur minimale, 0 volt, est définie “niveau logique 0” ou “niveau logique L”. Pour comprendre comment la sortie d’une porte logique peut passer du niveau logique 1 au niveau logique 0 ou vice-versa, imaginez qu’elle contienne un inverseur qui se commute sur la tension “positive” pour faire apparaître un niveau logique 1 et sur la masse pour faire apparaître un niveau logique 0.

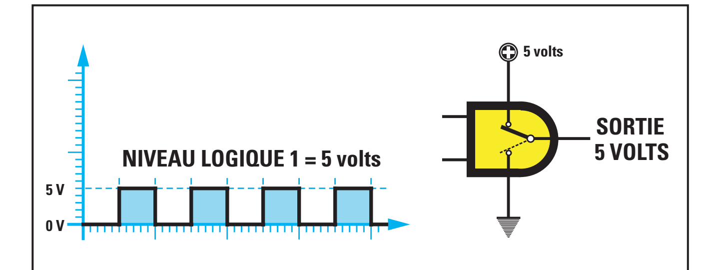


Figure 571 : Comme l’inverseur se commute sur la tension d’alimentation positive, il est bien évident que si la porte est alimentée par une tension positive de 5 volts, le niveau logique 1, que l’on obtiendra sur sa sortie, atteindra une valeur maximale de 5 volts.

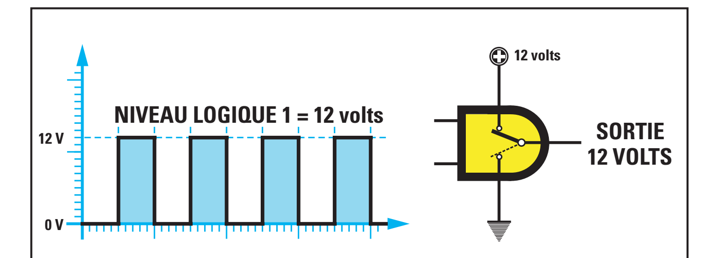


Figure 572 : Si la porte est alimentée par une tension positive de 12 ou 15 volts, le niveau logique 1, que l’on obtiendra sur sa sortie, atteindra une valeur maximale de 12 ou 15 volts. Ainsi, le niveau logique 1 prend une valeur égale à celle d’alimentation.

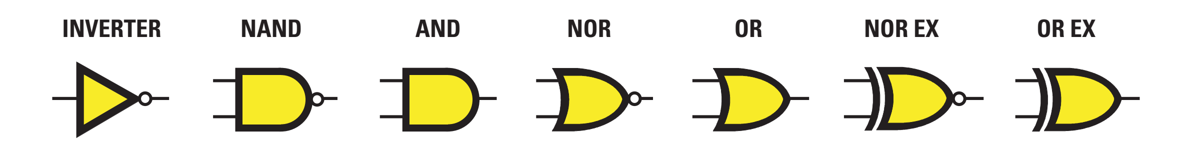


Figure 573 : Il existe 7 types de portes logiques qui commutent leurs sorties de façon différente par rapport aux niveaux logiques que l'on applique sur leurs entrées. Pour pouvoir les distinguer les unes des autres, elles sont graphiquement représentées comme sur cette figure.

Tableau 21a : Table de vérité des portes logiques

INVERTER

ENTRÉE	SORTIE
0	1
1	0
0	1
1	0

NAND

ENTRÉE	SORTIE
0	1
1	0
0	1
1	0

NAND

ENTRÉE		SORTIE
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

AND

ENTRÉE		SORTIE
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

NOR

ENTRÉE		SORTIE
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

OR

ENTRÉE		SORTIE
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

NOR EX

ENTRÉE		SORTIE
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

OR EX

ENTRÉE		SORTIE
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NOR

ENTRÉE			SORTIE
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

OR

ENTRÉE			SORTIE
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

NAND

ENTRÉE			SORTIE
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

AND

ENTRÉE			SORTIE
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Les symboles électriques des portes

Dans les schémas électriques, chaque porte logique a son propre symbole graphique qui permet de l'identifier immédiatement par rapport aux autres (voir figure 573).

Tous ces symboles sont représentés avec leurs entrées placées à gauche et leur sortie à droite.

Contrairement aux autres, qui ont deux entrées, l'INVERTER est la seule porte à n'en avoir qu'une.

Si vous regardez les symboles représentés sur la figure 573 d'un œil distrait, vous ne remarquerez aucune différence entre les symboles AND et NAND ou bien entre les symboles OR et NOR.

Mais si vous observez leur broche de sortie avec plus d'attention, vous pourrez remarquer que sur les symboles NOR et NAND se trouve un petit cercle qui n'apparaît pas sur les symboles des portes AND et OR (voir figure 581).

Ce même petit cercle se trouve également sur la broche de sortie de la porte INVERTER.

Dans le tableau 21a, vous trouverez la table de vérité de toutes les portes logiques. Grâce à cette table, vous pourrez savoir quel est le niveau logique de la broche de sortie lorsque l'on

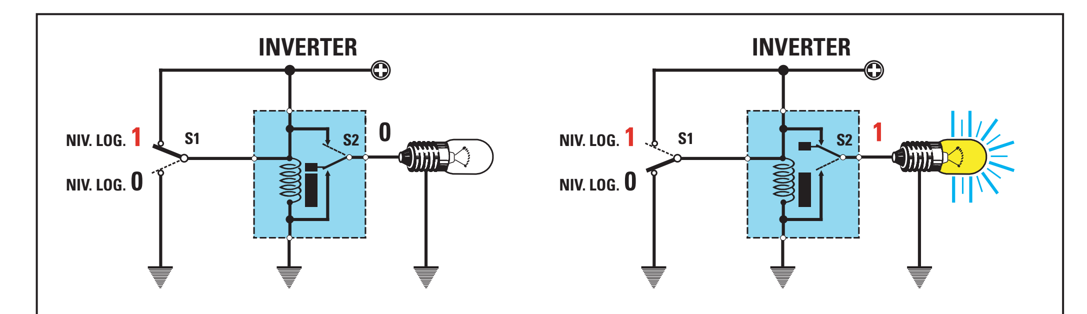


Figure 574 : En reliant un relais comme sur cette figure, on réalise une porte INVERTER. En effet, si l'on applique un niveau logique 1 sur son entrée, le relais s'excite et éteint l'ampoule tandis que si on applique un niveau logique 0, le relais se désactive et allume l'ampoule.

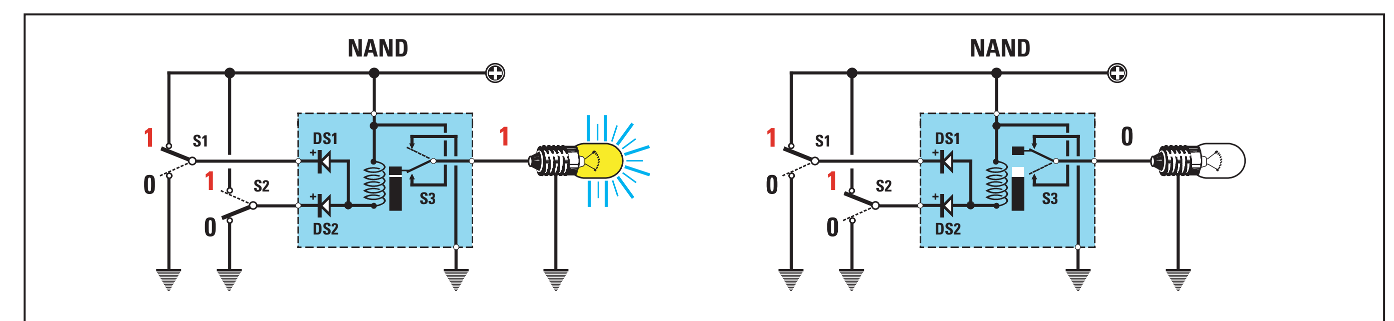


Figure 575 : En reliant un relais comme sur cette figure, on réalise une porte NAND. Si l'on commute les interrupteurs placés sur les deux diodes d'entrée, on obtiendra les mêmes niveaux logiques en sortie que ceux indiqués sur la table de vérité de la NAND.

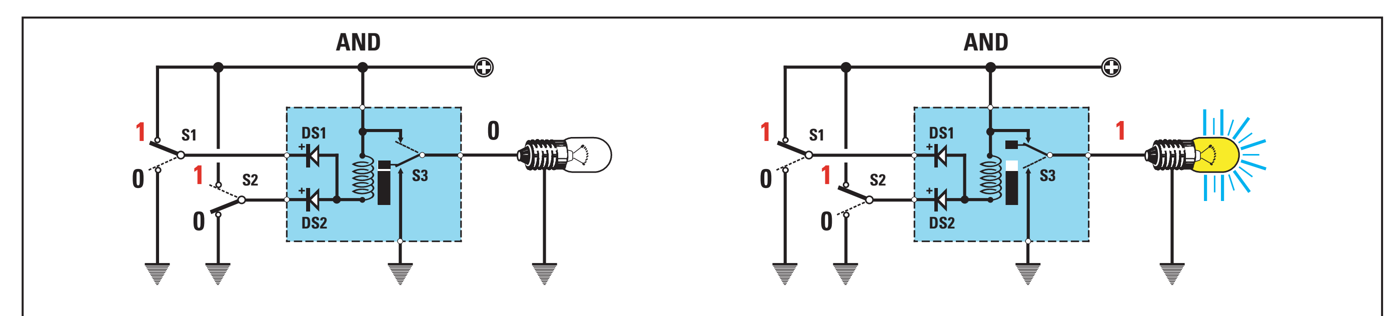


Figure 576 : Pour obtenir une porte AND, on devra seulement inverser les liaisons internes de l'inverseur S3 comme sur cette figure. Lorsque le relais est excité, par l'intermédiaire de S1 et S2, l'ampoule placée sur la sortie s'éteint et lorsqu'il est désactivé, l'ampoule s'allume.

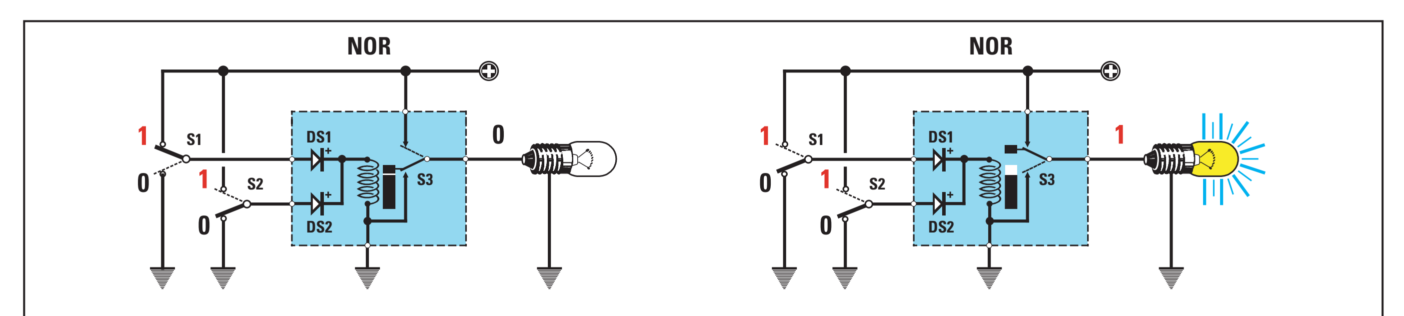


Figure 577 : Pour réaliser une porte NOR à l'aide d'un relais, on devra relier les deux diodes comme sur cette figure. Le relais est excité et éteint l'ampoule seulement lorsque l'une des diodes est reliée au positif d'alimentation (voir table de vérité).

applique des niveaux logiques 1 ou 0 sur les entrées.

La porte INVERTER

Dans la table de vérité de la porte INVERTER, vous pouvez remarquer que lorsque l'on applique un niveau logique 0 sur la broche d'entrée (broche reliée à la masse), on trouve un niveau logique 1 sur la broche de sortie (broche reliée au positif d'alimentation).

Lorsque l'on applique un niveau logique 1 sur la broche d'entrée, on trouve alors un niveau logique 0 sur la broche de sortie.

C'est justement parce qu'on trouve, sur la sortie de cette porte, un niveau logique inverse à celui qui est appliqué sur l'entrée, qu'on l'appelle INVERTER.

Pour réaliser une porte INVERTER très élémentaire, vous pouvez vous procurer un relais et le relier comme sur la figure 574.

En déplaçant l'inverseur S1 vers le positif d'alimentation (niveau logique 1) le relais est excité et, par conséquent, le levier interne S2 se positionne sur le contact de la masse. Dans ce cas, on retrouve une tension de 0 volt sur la broche de sortie, c'est-à-dire un niveau logique 0.

En déplaçant l'inverseur S1 vers la masse (niveau logique 0), le relais est excité et, par conséquent, le levier interne S2 se positionne sur le contact relié au positif d'alimentation. Dans ce cas, on retrouve la tension positive maximale sur la broche de sortie, c'est-à-dire un niveau logique 1.

La porte NAND

La porte NAND dispose de deux entrées. On peut remarquer, en observant sa table de vérité qu'un niveau logique 0, c'est-à-dire une tension de 0 volt, se trouve sur sa sortie seulement lorsqu'un niveau logique 1 se trouve sur les deux entrées. Toute autre combinaison sur les entrées provoque un niveau logique 1 sur la sortie, c'est-à-dire la tension positive maximale.

Pour comprendre le fonctionnement d'une porte NAND, il faut relier un relais comme sur la figure 575 et y ajouter

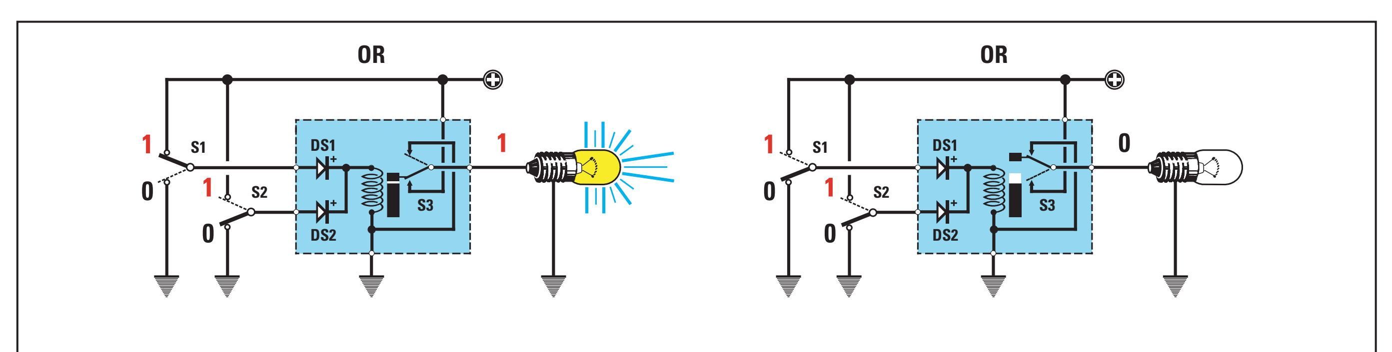


Figure 578 : Pour réaliser une porte OR, on devra seulement relier les contacts de l'inverseur S3 comme sur cette figure. Dans ces conditions, en effet, l'ampoule s'éteint lorsque le relais est désactivé et elle s'allume lorsqu'il est excité.

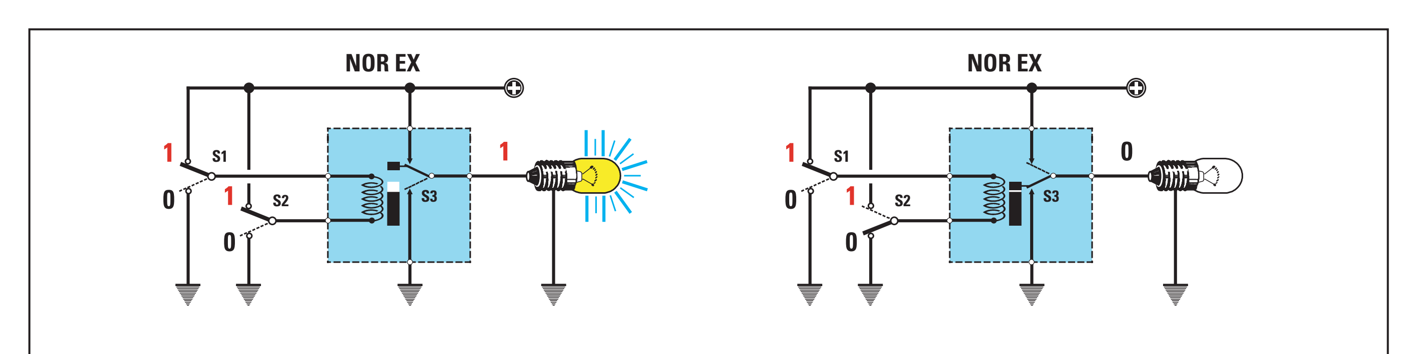


Figure 579 : Pour réaliser une porte NOR exclusif, on devra relier les deux diodes aux extrémités de la bobine d'excitation comme sur cette figure. Lorsqu'on applique deux niveaux logiques identiques 1 et 1 ou 0 et 0, le relais ne peut pas être excité.

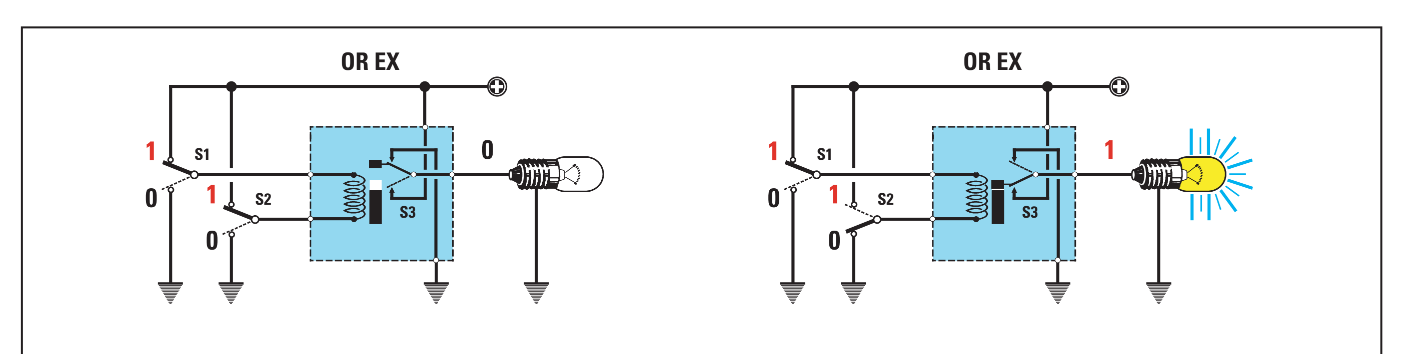


Figure 580 : Pour réaliser une porte OR exclusif, on devra seulement relier les contacts de l'inverseur interne S3 comme sur cette figure. Dans ces conditions, en effet, l'ampoule s'éteint lorsque le relais est désactivé et s'allume lorsqu'il est excité.

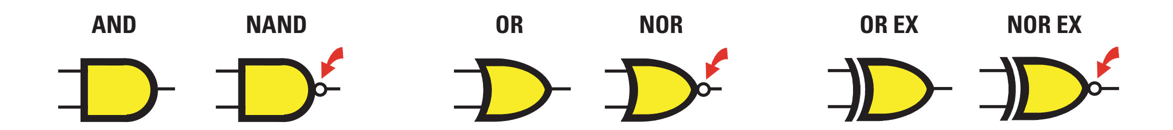


Figure 581 : Pour distinguer la porte NAND de la porte AND, la porte NOR de la porte OR et la porte NOR exclusif de la porte OR exclusif, un petit rond est placé sur la broche de sortie. Pour distinguer les portes NOR et OR des portes NOR exclusif et OR exclusif, un symbole en forme de grande parenthèse est placé du côté des entrées.

deux diodes au silicium (voir DS1 et DS2).

En positionnant l'inverseur S1 sur le positif d'alimentation (niveau logique 1) et l'inverseur S2 sur la masse (niveau logique 0) ou vice-versa, le relais est excité parce que la tension positive qui passe à travers sa bobine se décharge à la masse, en passant à travers la diode DS1.

Une fois le relais excité, le levier interne, référencé S3, se positionne sur le contact positif d'alimentation et on retrouve alors, sur la broche de sortie, un niveau logique 1, c'est-à-dire une tension positive.

C'est seulement lorsque les inverseurs S1 et S2 sont tous deux positionnés sur le positif d'alimentation (niveaux logiques 1, 1), que le relais ne peut pas être excité, ce qui fait que le levier interne S3 reste positionné sur la masse. Dans ce cas-là, on retrouve alors un niveau logique 0 en sortie.

Les diodes DS1 et DS2, présentes dans le circuit, servent à éviter un court-circuit lorsqu'on positionne l'une des deux entrées sur le positif et l'autre sur la masse.

La porte AND

En contrôlant la table de vérité de la porte AND, on peut remarquer que c'est seulement lorsqu'un niveau logique 1 se trouve sur les deux entrées que l'on retrouve un niveau logique 1, c'est-à-dire une tension positive, sur sa sortie.

Toute autre combinaison sur les entrées provoque un niveau logique 0 sur la sortie, c'est-à-dire aucune tension.

Comme vous pouvez facilement le constater, à parité de niveaux logiques en entrée, la porte AND fournit, sur sa broche de sortie, des niveaux logiques opposés à ceux fournis par la porte NAND.

Pour comprendre le fonctionnement d'une porte AND, il faut relier un relais comme sur la figure 576.

En positionnant l'inverseur S1 sur le positif d'alimentation (niveau logique 1) et l'inverseur S2 sur la masse (niveau logique 0) ou vice-versa, le relais est excité parce que la tension positive qui passe à travers sa bobine se décharge à masse, en passant à travers l'une des deux diodes au silicium, DS1 ou DS2.

Une fois le relais excité, le levier interne, référencé S3, se positionne sur le contact de masse et on retrouve alors en sortie un niveau logique 0, c'est-à-dire aucune tension.

C'est seulement lorsque les inverseurs S1 et S2 sont tous deux positionnés sur le positif d'alimentation (niveaux logiques 1, 1), que le relais ne peut pas être excité et que son levier interne S3 reste positionné sur le positif. C'est alors que l'on retrouve un niveau logique 1, c'est-à-dire une tension positive, sur la sortie.

La porte NOR

En contrôlant la table de vérité de la porte NOR, on peut remarquer que c'est seulement lorsqu'un niveau logique 0 se trouve sur les deux entrées que l'on retrouve un niveau logique 1 sur sa sortie.

Toute autre combinaison sur les entrées provoque un niveau logique 0 sur la sortie, c'est-à-dire aucune tension.

Pour comprendre le fonctionnement d'une porte NOR, il faut relier un relais comme sur la figure 577.

En positionnant l'inverseur S1 sur le positif d'alimentation (niveau logique 1) et l'inverseur S2 sur la masse

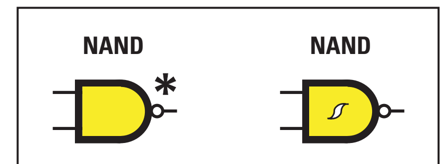


Figure 582 : Si le symbole de l'astérisque apparaît sur la sortie de la porte, cela signifie qu'à l'intérieur sa broche de sortie est déconnectée du positif d'alimentation (voir figure 583). S'il y a un double S à l'intérieur de la porte, cela signifie qu'elle est à trigger.

(niveau logique 0) ou vice-versa, le relais est excité parce que la tension positive qui passe à travers l'une des deux diodes atteint sa bobine et l'excite.

Même si la diode opposée appliquée à l'entrée est reliée à masse, la bobine du relais conserve sa tension d'excitation car sa cathode étant reliée au positif, elle ne peut pas alimenter.

Une fois le relais excité, le levier interne, référencé S3, se positionne sur le contact de masse et on retrouve alors en sortie un niveau logique 0, c'est-à-dire aucune tension.

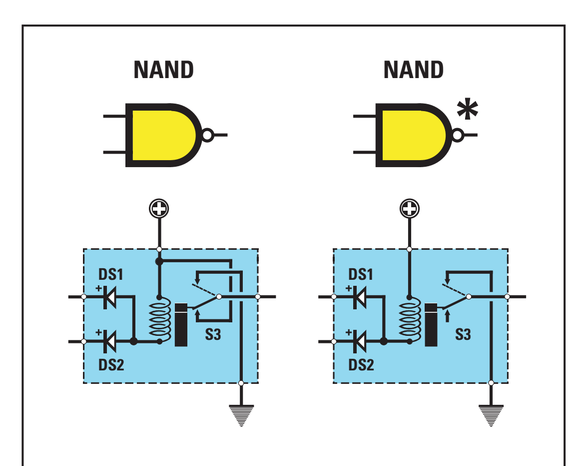


Figure 583 : Si la porte n'a pas d'astérisque, lorsque le relais est excité, le contact interne est relié au positif d'alimentation. Si la porte a un astérisque, lorsque le relais est excité, aucune tension ne sort de la broche de sortie parce qu'à l'intérieur, elle n'est pas reliée au positif d'alimentation.

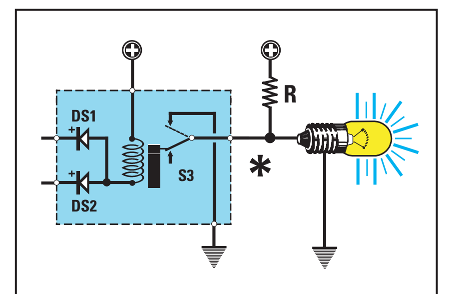


Figure 584 : Pour faire s'allumer l'ampoule lorsque le relais est excité, on doit relier une résistance à l'extérieur, entre la broche de sortie et la tension positive d'alimentation. La tension positive, en passant à travers la résistance externe, fera s'allumer l'ampoule.

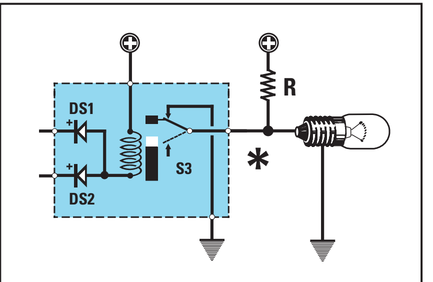


Figure 585 : Lorsque le relais se désactive, le levier de l'inverseur se positionne sur le contact de masse en court-circuitant la tension positive fournie par la résistance. Dans ces conditions, l'ampoule ne peut pas s'allumer car on retrouve un niveau logique 0 sur la broche de sortie.

C'est seulement lorsque les inverseurs S1 et S2 sont tous deux positionnés sur la masse (niveaux logiques 0, 0), que le relais ne peut pas être excité et que son levier interne S3 reste positionné sur le positif. C'est alors que l'on retrouve un niveau logique 1, c'est-à-dire une tension positive qui fait s'allumer l'ampoule, sur la sortie.

La porte OR

En contrôlant la table de vérité de la porte OR, on peut remarquer que c'est seulement lorsqu'un niveau logique 0 se trouve sur les deux entrées que l'on retrouve un niveau logique 0 en sortie.

Toute autre combinaison sur les entrées provoque un niveau logique 1 sur la sortie, c'est-à-dire une tension positive.

Comme vous pouvez facilement le constater, à parité de niveaux logiques en entrée, la porte OR fournit sur sa broche de sortie des niveaux logiques opposés à ceux fournis par la porte NOR.

Pour comprendre le fonctionnement d'une porte OR, il faut relier un relais comme sur la figure 578.

En positionnant l'inverseur S1 sur le positif d'alimentation (niveau logique 1) et l'inverseur S2 sur la masse (niveau logique 0) ou vice-versa, la tension positive qui passe à travers DS1 atteint la bobine du relais et l'excite. Même si la diode DS2 est reliée à masse, la bobine du relais conserve sa tension d'excitation car, la cathode de la diode étant reliée au positif, elle ne peut pas alimenter.

Une fois le relais excité, le levier interne, référencé S3, se positionne sur le contact du positif et on retrouve alors en sortie un niveau logique 1.

C'est seulement lorsque les inverseurs S1 et S2 sont tous les deux positionnés sur la masse (niveaux logiques 0, 0), que le relais ne parvient pas à être excité et que le levier interne S3 reste positionné sur la masse. C'est alors que l'on retrouve un niveau logique 0 sur la sortie, c'est-à-dire aucune tension.

La porte NOR exclusif

En contrôlant la table de vérité de la porte NOR exclusif, on peut remarquer que c'est seulement lorsque les niveaux logiques 0-0 se trouvent sur les deux entrées que l'on retrouve un niveau logique 1 en sortie. Ce même état logique s'obtient également on appliquant les niveaux logiques 1-1 sur les entrées.

Lorsque des niveaux logiques opposés se trouvent sur les entrées, on retrouve un niveau logique 0 en sortie, c'est-à-dire aucune tension.

Pour comprendre le fonctionnement d'une porte NOR exclusif, il faut relier un relais comme sur la figure 579.

En positionnant les inverseurs S1 et S2 sur le positif d'alimentation, le relais n'est pas excité. Dans ces conditions, le levier interne, référencé S3, reste relié au contact du positif d'alimentation et l'ampoule s'allume.

On obtient la même chose si l'on positionne les deux inverseurs S1 et S2 à masse.

C'est seulement si l'on positionne l'inverseur S1 sur le positif et S2 à masse, ou vice-versa, que le relais est excité et que, par conséquent, le levier interne S3 se positionne sur la masse, en retirant la tension de la broche de sortie sur laquelle on retrouve un niveau logique 0.

La porte OR exclusif

En contrôlant la table de vérité de la porte OR exclusif, on peut remarquer que c'est seulement lorsque les niveaux logiques 0-0 se trouvent sur les deux entrées que l'on retrouve un niveau logique 0 en sortie. Ce même état logique s'obtient également lorsque l'on trouve les niveaux logiques 1-1 sur les entrées.

Lorsque des niveaux logiques opposés se trouvent sur les entrées, on retrouve un niveau logique 1 en sortie, c'est-à-dire la tension positive maximale.

Pour comprendre le fonctionnement d'une porte OR exclusif, il faut relier un relais comme sur la figure 580.

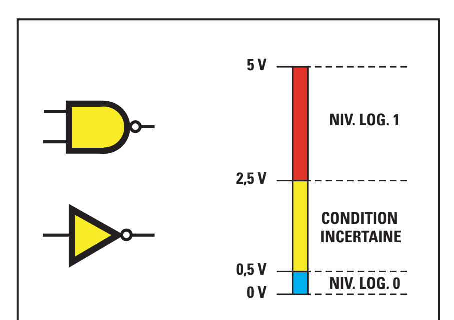


Figure 586 : Toutes les broches d'entrée d'une porte normale reconnaissent un niveau logique 1 lorsque la tension dépasse 2,5 volts et un niveau logique 0 lorsqu'elle descend en dessous de 0,5 volt. Toutes les valeurs de tension intermédiaires font partie des "conditions incertaines".

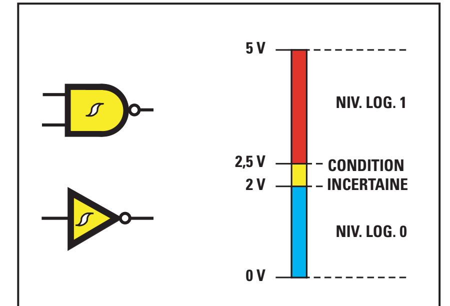


Figure 587 : Toutes les broches d'entrée d'une porte à trigger reconnaissent un niveau logique 1 uniquement lorsque la tension dépasse 2 volts. C'est pour cela que ces portes sont utilisées dans les circuits dans lesquels se trouvent beaucoup d'interférences générées par des relais, des triacs, etc.

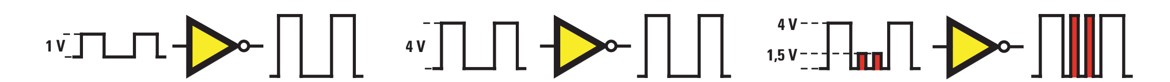


Figure 588 : Lorsqu'on applique des signaux qui atteignent des valeurs allant de 1 à 4 volts sur l'entrée d'une porte INVERTER, ils sont reconnus comme des niveaux logiques 1. Si des interférences de plus de 1 volt surviennent, elles sont également reconnues comme des niveaux logiques 1.

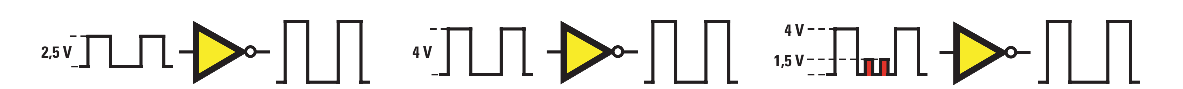


Figure 589 : Une porte INVERTER à trigger reconnaît comme niveaux logiques 1 seulement les signaux de plus de 2 volts. Donc, si des impulsions d'interférences ne dépassant pas une tension de 2 volts arrivent sur les entrées, elles ne sont pas prises en compte.

En positionnant les inverseurs S1 et S2 sur le positif d'alimentation, le relais n'est pas excité. Dans ces conditions, le levier interne, référencé S3, reste relié au contact de la masse. On obtient donc ainsi un niveau logique 0 en sortie.

On obtient la même chose si l'on positionne les deux inverseurs S1 et S2 à masse.

C'est seulement si l'on positionne l'inverseur S1 sur le positif et S2 à masse ou vice-versa, que le relais est excité et que, par conséquent, le levier interne S3 se positionne sur le positif d'alimentation. On retrouve alors, en sortie, un niveau logique 1.

Les variantes des symboles électriques

Comme nous l'avons déjà vu, les portes NAND et NOR se distinguent des portes AND et OR grâce au petit cercle qui se trouve sur leur broche de sortie (voir figure 581).

Pour distinguer les symboles OR et NOR des symboles OR exclusif et NOR exclusif, on trouve une sorte de parenthèse sur leur broche de sortie (voir figure 581).

En outre, on trouve parfois également un astérisque à côté de la broche de sortie ou bien, à l'intérieur de la porte, un symbole ressemblant à un double S, comme sur la figure 582.

Etant donné que vous êtes nombreux à ignorer le sens de ces deux signes, il nous semble nécessaire de nous attarder à vous les expliquer.

Les portes avec un astérisque

Lorsque l'on trouve un astérisque près de la broche de sortie de la porte logique, cela signifie que cette broche n'est jamais reliée, à l'intérieur, au positif de la tension d'alimentation.

Prenons un exemple avec une porte NAND.

Dans une porte NAND sans astérisque (voir figure 583), le positif de l'alimentation est relié, de façon interne, à un des contacts de l'inverseur S3.

Dans une porte NAND avec astérisque, le positif de l'alimentation n'est jamais relié à l'inverseur interne.

Donc, pour obtenir un niveau logique 1 en sortie, on doit nécessairement appliquer une résistance à l'extérieur, comme sur la figure 584.

Lorsque le relais n'est pas excité, la tension positive externe appliquée à cette résistance est reliée à la masse par l'intermédiaire du levier S3. On retrouve donc, en sortie, un niveau logique 0.

Lorsque le relais est excité, la tension positive d'alimentation externe passe à travers la résistance. On a alors en sortie un niveau logique 1.

Les portes à trigger

Si l'on trouve sur le dessin graphique de la porte logique une sorte de double S, cela signifie que ses broches d'entrée sont "à seuil". Par "à seuil" on entend que la porte ne changera de niveau logique de sortie que lorsque les niveaux logiques appliqués sur ses entrées atteindront une valeur déterminée.

On utilise des portes à trigger de façon à les rendre insensibles aux perturbations qui pourraient se trouver sur les signaux appliqués sur ses entrées.

Pour mieux vous faire comprendre la différence qui existe entre une porte à

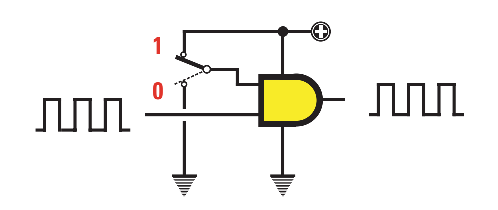


Figure 590 : Sur la sortie d'une porte munie de deux entrées, on retrouve le même signal numérique que celui appliqué sur l'une des deux entrées seulement si l'entrée opposée est reliée au positif d'alimentation. Pour confirmation, se référer à la table de vérité.

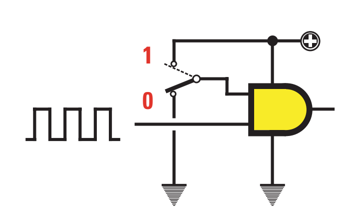


Figure 591 : Si on relie une entrée à la masse (niveau logique 0), quel que soit le signal que l'on appliquera sur l'entrée opposée, il n'atteindra jamais la sortie. On peut donc utiliser une porte logique également comme commutateur électronique.

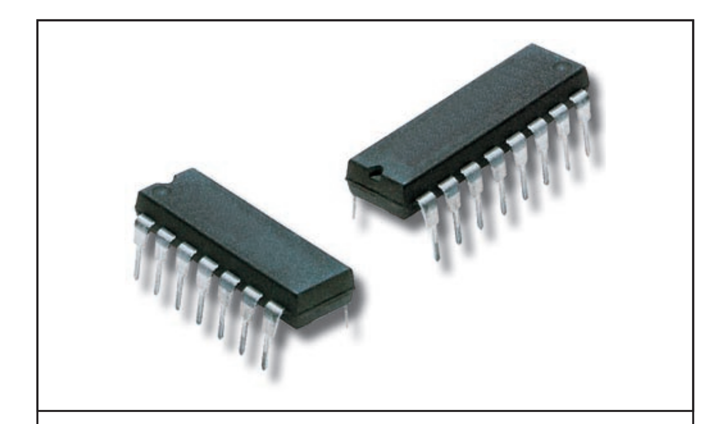


Figure 592 : Les portes logiques sont toujours placées à l'intérieur d'un circuit intégré muni de 14 ou 16 broches. Sur une seule extrémité du corps se trouve un repère-détrompeur en forme de U qui nous permet de reconnaître la broche 1 (voir les figures 594 et 595).

V
2/3 V
1/3 V
NIV. LOG. 1
CONDITION INCERTAINE
NIV. LOG. 0
5 V
3,3 V
1,7 V
10 V
6,7 V
3,3 V
15 V
10 V
5 V

Figure 593 : Tous les circuits intégrés CMOS qui peuvent être alimentés par des tensions de 5 à 15 volts reconnaissent un niveau logique 0 lorsqu'un signal ne dépassant pas 1/3 de la tension d'alimentation est appliqué sur l'entrée et reconnaissent un niveau logique 1 lorsque l'on applique un signal dépassant les 2/3 de la tension d'alimentation sur l'entrée.

trigger et une porte normale, prenons l'exemple de la porte la plus simple, c'est-à-dire l'INVERTER munie d'une seule entrée.

La porte normale : vous pouvez observer sur le dessin de la figure 586 que la broche d'entrée peut reconnaître, comme niveau logique 1, n'importe quelle tension supérieure à 0,5 volt et comme niveau logique 0, n'importe quelle tension inférieure à 2,5 volts.

Ces deux valeurs font référence à une porte logique alimentée à l'aide d'une tension de 5 volts.

Sur la figure 586, vous pouvez également remarquer que les valeurs comprises entre 0,5 et 2,5 volts sont définies comme des valeurs "incertaines". De ce fait, le circuit intégré peut les reconnaître comme des niveaux logiques 1, mais aussi comme des niveaux logiques 0.

Pour éviter de tomber dans cette zone d'incertitude, il faut toujours appliquer sur les entrées une tension inférieure à 0,5 volt pour obtenir des niveaux logiques 0 et une tension supérieure à 4 volts pour obtenir des niveaux logiques 1.

Si ces conditions semblent très simples à obtenir en théorie, n'oublions pas que des impulsions externes peuvent causer des interférences à cause, par exemple, des contacts d'un interrupteur, d'un moteur électrique ou d'un triac.

Si ces impulsions dépassent 0,5 volt, elles seront reconnues par la porte logique comme étant des niveaux logiques 1.

La porte à trigger : contrairement au dessin de la figure 586, sur celui de la figure 587, la tension doit dépasser 2 volts pour que l'entrée de la porte la reconnaisse comme niveau logique 1. Ainsi, toutes les interférences ne dépassant pas cette valeur sont considérées comme des niveaux logiques 0.

Les portes à trigger sont ainsi beaucoup moins sensibles aux interférences.

Les portes à plusieurs entrées

Dans les exemples jusqu'à présent cités, nous avons toujours dessiné les portes AND, OR, NAND, NOR, OR exclusif et NOR exclusif avec seulement deux entrées, mais comme vous pouvez le voir sur la figure 594, il existe également des portes munies de 3, 4, voir 5 entrées.

La table de vérité de ces portes est identique à celle des portes à deux entrées.

En observant, par exemple, la table de vérité de la porte NAND à deux entrées, vous pouvez remarquer que l'on retrouve un niveau logique 0 en sortie seulement lorsque l'on a des niveaux logiques 1-1 sur les deux entrées.

Toute autre combinaison sur les entrées provoque un niveau logique 1 sur la sortie, c'est-à-dire une tension positive.

On retrouve également un niveau logique 0 sur la sortie des NAND munie de plusieurs entrées seulement lorsque toutes les entrées sont au niveau logique 1.

Si une seule des entrées se trouve au niveau logique 0, on aura toujours un niveau logique 0 sur sa sortie. On peut facilement le contrôler grâce à sa table de vérité.

Une porte INVERTER à deux broches

Pour réaliser un INVERTER, il suffit de relier les portes NAND et NOR ou bien les portes AND et OR munies de deux entrées.

En effet, si l'on observe la table de vérité de la porte NAND, on peut remarquer que lorsqu'on a un niveau logique 0 sur les deux entrées, on retrouve un niveau logique 1 sur la sortie, tandis que, lorsqu'on a un niveau logique 1 sur les deux entrées, on retrouve un niveau logique 0 sur la sortie.

Par conséquent, en reliant les deux entrées, on obtient une porte INVERTER.

Une porte comme interrupteur

Une porte munie de deux entrées est utile pour obtenir des commutateurs électroniques simples et rapides pour signaux digitaux.

Si on applique une fréquence à onde carrée sur la broche d'entrée du circuit de la figure 590 et qu'on relie la broche opposée au positif d'alimentation, c'est-à-dire qu'on la met au niveau logique 1, cette porte laissera passer cette fréquence vers la broche de sortie sans aucun problème.

Pour comprendre pourquoi cela se produit, il suffit de regarder la table de vérité de la porte NAND.

Lorsque l'onde carrée appliquée sur l'une de ses broches se trouve au niveau logique 1, étant donné que la broche opposée est au niveau logique 1, on retrouve en sortie :

1 - 1 résultat 0

Lorsque l'onde carrée se trouve au niveau logique 0, étant donné que la broche opposée est au niveau logique 1, on retrouve en sortie :

1 - 0 résultat 1

Si on relie la broche opposée à la masse, c'est-à-dire au niveau logique 0 (voir figure 591), le signal appliqué sur l'autre entrée ne passera pas sur sa sortie parce qu'on obtiendra :

0 - 0 résultat 1
0 - 1 résultat 1

TABLEAU 21b.

Famille	HCT MOS	CMOS	CMOS	TTL Standard	TTL Schottky	TTL Schottky	TTL Schottky	TTL Schottky
Référence	74HC	CD40	HE40	74	74LS	74S	74AS	74F
Tension	5 volts	18 volts	18 volts	5 volts	5 volts	5 volts	5volts	5 volts
Fréquence	55 MHz	4 MHz	12 MHz	25 MHz	33 MHz	100 MHz	160 MHz	125 MHz

Circuits intégrés numériques

Les portes logiques sont toujours placées à l'intérieur d'un corps plastique de forme rectangulaire appelée circuit intégré (voir figure 592), muni de 14 ou 16 broches, à l'intérieur duquel se trouvent 2, 3, 4 ou 6 portes logiques.

Pour savoir quel type de porte se trouve à l'intérieur d'un circuit intégré, il suffit de regarder la référence marquée sur son corps et de chercher son schéma interne dans un data-book.

Sur les figures 594 et 595, vous pouvez voir les schémas internes des circuits intégrés digitaux les plus utilisés, ainsi que leurs références.

Dans les références, nous avons indiqué uniquement le chiffre significatif et donc complètement ignoré les lettres initiales qui indiquent normalement le constructeur.

Un circuit intégré 7400 contient :
4 NAND à 2 entrées

Un circuit intégré 7402 contient :
4 NOR à 2 entrées

Un circuit intégré 4001, que l'on peut également trouver dans le commerce sous la référence CD4001 ou HCF4001, contient 4 NOR à 2 entrées (voir figure 594).

Pour connaître la broche 1 de ces circuits intégrés, placez-le horizontalement, la découpe en forme de U, qui se trouve d'un seul côté de son corps plastique, étant placée vers la gauche. La broche 1 est celle qui se trouve en bas à gauche, comme vous pouvez le voir sur les dessins des figures 594 et 595.

Outre les broches d'entrées et de sortie de chacune des portes, le circuit intégré, pour pouvoir fonctionner, possède également les deux broches d'alimentation. La broche à relier au positif d'alimentation est indiquée à l'aide d'un "+ " ou bien de "Vcc". La broche à relier au négatif d'alimentation est toujours indiquée par "GND", qui est l'abréviation du terme anglais "ground" (masse).

Circuits intégrés TTL, CMOS et HCMOS

Dans la liste des composants de chaque schéma électrique, vous trouvez toujours la référence du circuit intégré à utiliser, par exemple :

Intégré TTL 7402
Intégré TTL 74H10
Intégré TTL 74LS10
Intégré TTL 74S14

Intégré CMOS 74C00
Intégré CMOS 74HC05
Intégré CMOS CD4000
Intégré CMOS HCF4001
Intégré CMOS HCT4023

Les différences entre un circuit intégré TTL et un circuit intégré CMOS concernent seulement :

- la tension d'alimentation,
- la fréquence de travail maximale,
- la valeur des niveaux logiques 1 et 0.

Toute la série des circuits intégrés qui commencent par le nombre 74 doit être alimentée à l'aide d'une tension qui ne doit être ni inférieure à 4,5 volts, ni supérieure à 5,2 volts, c'est-à-dire, en d'autres termes, qu'ils doivent être alimentés à l'aide d'une tension stabilisée de 5 volts.

Si la tension devait être inférieure à 4,5 volts, les portes qui se trouvent à l'intérieur ne pourraient pas fonctionner. Si, à l'opposé, elle devait être supérieure à 5,2 volts, on risquerait de "griller" le circuit intégré.

Les lettres, SN ou MM par exemple, placées devant la référence 74xx n'ont aucun sens en ce qui concerne la fonctionnalité du composant. Ce sont uniquement des références du constructeur.

Les deux chiffres placés à droite de 74 (7400, 7402 ou 7414, par exemple), indiquent le type de circuit intégré. Si des lettres sont intercalées entre les deux premiers chiffres et les deux derniers (74C00, 74HC00, 74LS00 ou 74AS00, par exemple), ils indiquent la fréquence maximale que l'on pourra appliquer sur leurs entrées, comme indiqué sur le tableau 21b.

Les circuits intégrés dont le nombre commence par 40 ou 45 (CD4000 ou CD4528, par exemple), peuvent être alimentés par une tension qui ne soit pas inférieure à 4 volts ou supérieure à 18 volts.

Les niveaux logiques 1 et 0

Comme nous l'avons déjà vu, le niveau logique 1 correspond à la tension positive maximale et le niveau logique 0 à une tension de 0 volt.

C'est pourquoi tous les circuits intégrés de la série TTL ou de la série HC qui nécessitent une tension d'alimentation de 5 volts nous donneront ces deux niveaux logiques :

Niveau logique 0 = 0 volt
Niveau logique 1 = 5 volts

Tandis que tous les circuits intégrés CMOS de la série CD et HE, qui peuvent être alimentés avec des tensions

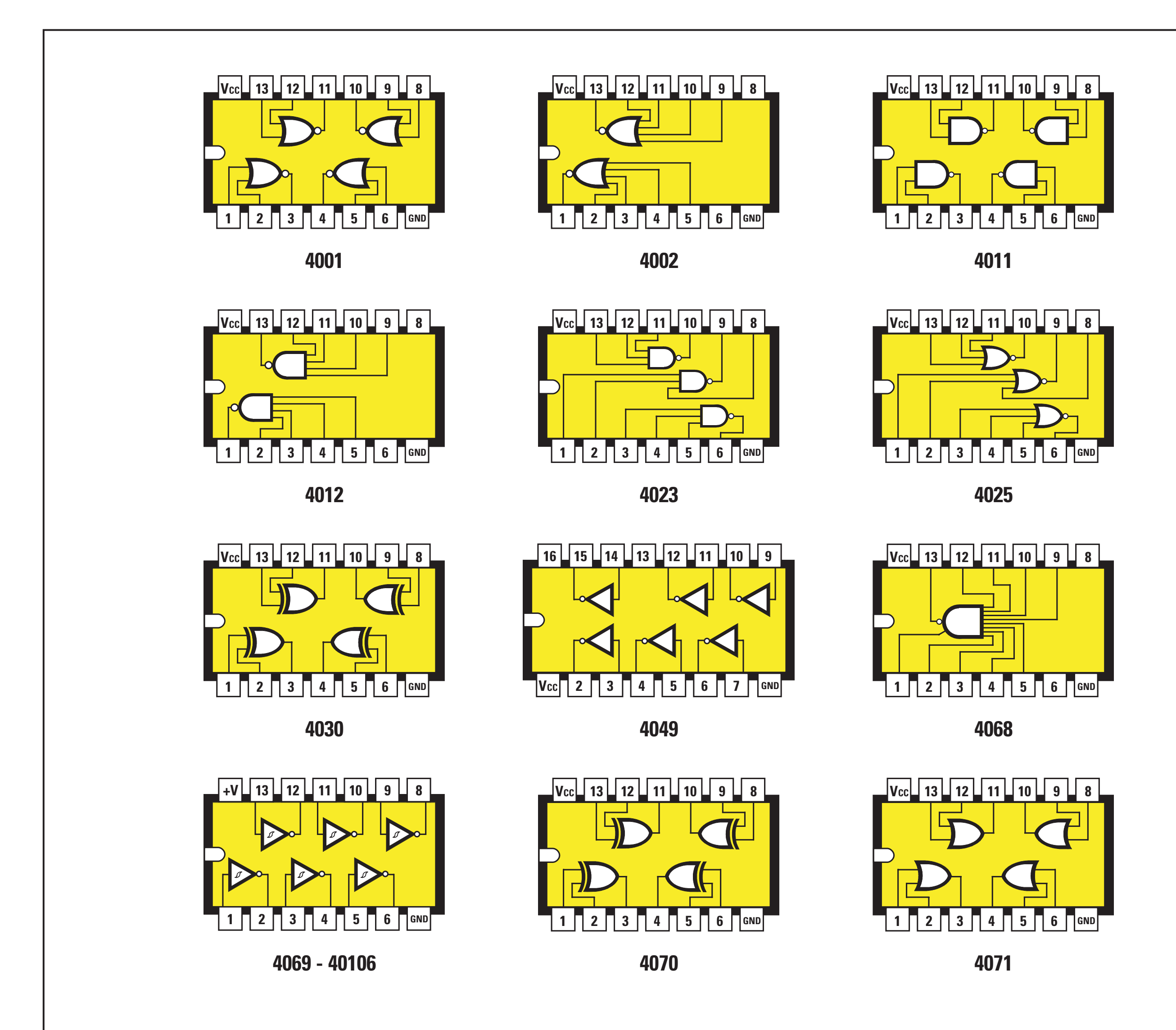


Figure 594 : Connexions des portes logiques CMOS de la série 40xx, vues du dessus. A gauche, on remarque le repère-détrompeur en forme de U qui donne l'emplacement de la broche 1.

variables allant de 4 volts jusqu'à un maximum de 18 volts, nous donneront ces deux niveaux logiques :

Niveau logique 0 = 0 volt
Niveau logique 1 = tension équivalente à la tension d'alimentation

Donc, si on alimente un circuit intégré CMOS avec une tension de 4,5 volts, ses niveaux logiques seront :

Niveau logique 0 = 0 volt
Niveau logique 1 = 4,5 volts

Si on alimente le même circuit intégré CMOS avec une tension de 15 volts, ses niveaux logiques seront :

Niveau logique 0 = 0 volt
Niveau logique 1 = 15 volts

Rappelez-vous que les broches d'entrée de ces CMOS reconnaissent comme niveaux logiques 1 et 0 une valeur de tension qui est proportionnelle à la tension d'alimentation (voir figure 593).

Niveau logique 0 = 1/3 de la tension d'alimentation
Niveau logique 1 = 2/3 de la tension d'alimentation

Donc, si on alimente le circuit intégré CMOS avec une tension de 4,5 volts, jusqu'à ce que la tension sur les broches d'entrée dépasse :

(4,5 : 3) x 1 = 1,5 volt

elle est considérée comme étant au niveau logique 0.

Si cette tension ne dépasse pas les 2/3 de la tension d'alimentation, son fonctionnement rentrera alors dans la zone de "condition incertaine". C'est seulement lorsque la valeur de la tension appliquée sur ses entrées dépasse :

(4,5 : 3) x 2 = 3 volts

qu'elle est reconnue comme étant au niveau logique 1.

Si on alimente le circuit intégré CMOS avec une tension de 10 volts, tant que la tension sur les broches d'entrée ne dépasse pas :

(10 : 3) x 1 = 3,33 volts

elle est considérée comme étant au niveau logique 0.

Lorsque la valeur de la tension appliquée sur ses entrées dépasse :

(10 : 3) x 2 = 6,66 volts

elle est reconnue comme étant au niveau logique 1.

En admettant que le circuit intégré CMOS soit alimenté avec une tension de 15 volts, tant que la tension sur

7400 7401 7402

7403 7404 7405

7408 7410 7414 - 7419

7420 7424 7427

7428 7432 7486

Figure 595 : Connexions des portes logiques TTL et CMOS de la série 74xx, vues du dessus. A gauche, on remarque le repère-détrompeur en forme de U qui donne l'emplacement de la broche 1.

ses broches d'entrée ne dépasse pas :

(15 : 3) x 1 = 5 volts

elle est considérée comme étant au niveau logique 0.

Lorsque la valeur de la tension appliquée sur ses entrées dépasse :

(15 : 3) x 2 = 10 volts

elle est reconnue comme étant au niveau logique 1.

Etant donné que la tension qui se trouve sur les broches d'entrée d'un circuit intégré CMOS doit dépasser le 1/3 de la tension d'alimentation pour être reconnue comme étant au niveau logique 1, ces circuits intégrés sont moins sensibles aux interférences que les TTL.

Toutefois, même les CMOS présentent des inconvénients. Par exemple, ils ne peuvent pas travailler avec des signaux dont la fréquence dépasse les 4 MHz, tandis que les circuits intégrés TTL standards peuvent travailler jusqu'à 25 MHz et les TTL Schottky, jusqu'à 100 ou 160 MHz.

Comme les niveaux logiques 1 et 0 d'un CMOS varient en fonction de la tension d'alimentation, on ne pourra jamais relier sa sortie sur l'entrée d'une porte TTL ou vice-versa.

En effet, en appliquant le niveau logique 0 d'une porte CMOS alimenté par 15 volts sur les broches d'entrée d'une porte TTL, lorsque la tension atteint 5 volts, le circuit intégré TTL la reconnaît comme étant au niveau logique 1.

Si l'on applique le niveau logique 1 d'une porte CMOS alimenté par 15 volts sur les broches d'entrée d'une porte TTL, le circuit TTL se "grille", car il n'accepte pas de tensions supérieures à 5 volts.

◆ **G. M.**

La LX.5022, une table de vérité électronique

A l'aide des portes logiques, on peut concevoir des circuits simples et très intéressants, mais pour pouvoir les réaliser, il est indispensable de se rappeler les conditions logiques obtenues sur la sortie en fonction des niveaux logiques 1 ou 0 appliqués sur les entrées.



Les tables de vérité imprimées que nous avons mises à votre disposition dans la précédente leçon vous aideront, bien sûr, mais nous savons qu'il est toujours plus facile de mémoriser quelque chose que l'on a vu en fonctionnement.

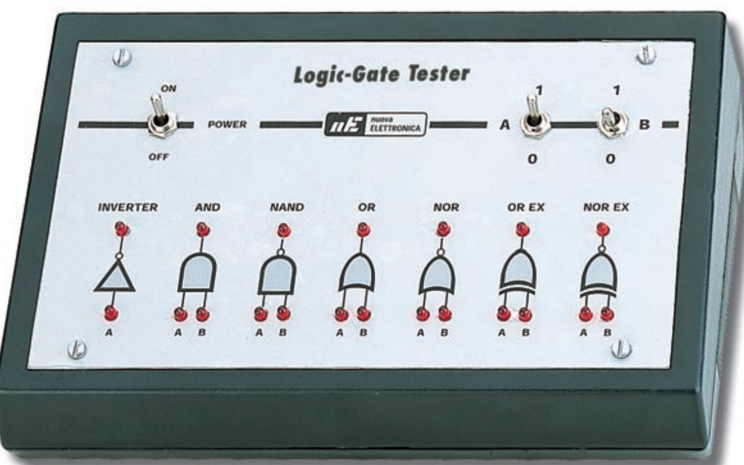


Figure 596 : Photo de la table de vérité électronique LX.5022.

C'est pour cela que nous avons étudié le montage que nous vous proposons dans ces lignes. Il vous permettra de voir quel niveau logique apparaît en sortie des différentes portes en fonction des niveaux logiques présents sur les entrées.

Comme vous pouvez le voir sur la figure 597, le schéma électrique de ce testeur de portes logiques utilise seulement 3 circuits intégrés TTL :

un 7400 contenant 4 portes NAND (voir IC1),
un 7402 ou 74LS02 contenant 4 portes NOR (voir IC2),
un 74LS86 contenant 4 portes OR exclusif (voir IC3).

A l'aide des portes contenues à l'intérieur de ces circuits intégrés, on peut également obtenir les portes manquantes, c'est-à-dire la porte INVERTER, la porte AND, la porte OR ainsi que la porte NOR exclusive.

Pour obtenir la porte INVERTER, on relie ensemble les deux entrées de la porte NAND référencée IC1/A.

Pour obtenir la porte AND, on relie une autre porte NAND montée en INVERTER (voir IC1/B), sur la sortie de la porte NAND référencée IC1/C.

Pour obtenir la porte OR, on relie une autre porte NOR montée en INVERTER (voir IC2/A), sur la sortie de la porte NOR référencée IC2/B.

Pour obtenir la porte NOR exclusive, on relie une autre porte NOR (voir IC2/D) reliée comme INVERTER sur la sortie de la porte OR exclusive référencée IC3/B.

Si vous contrôlez la table de la vérité, vous découvrirez qu'en reliant en série sur la sortie de ces portes une deuxième porte comme INVERTER, on obtient les niveaux logiques 1 et 0 requis.

En observant la figure 597, vous pouvez remarquer que sur chaque broche d'entrée et de sortie des portes, nous avons inséré une LED qui s'allume en présence d'un niveau logique 1 et s'éteint en présence d'un niveau logique 0. En positionnant le levier des inverseurs S1 et S2 sur le positif de l'alimentation, on applique un niveau logique 1 sur les

Figure 597a : Schéma électrique de la table de vérité électronique LX.5022. Pour voir le schéma synoptique et le brochage des trois circuits intégrés utilisés dans ce montage, il suffit de rechercher les références 7400, 7402 et 7486 dans la figure 595 de la leçon 24 (ELM 24, page 91).

entrées, tandis que si on le positionne, au contraire, sur la masse, on applique un niveau logique 0.

Pour alimenter ce circuit, il faut une tension stabilisée de 5 volts que l'on prélève de IC4, un circuit intégré stabilisateur ordinaire type 7805.

La réalisation pratique

Pour réaliser cette table de vérité électronique, procurez-vous le circuit imprimé double face à trous métallisés et, en vous inspirant du dessin de la figure 598, vous pouvez commencer le montage en insérant les trois supports des circuits intégrés IC1, IC2 et IC3.

Après avoir soudé toutes les broches sur les pistes en cuivre, insérez les résistances, puis les condensateurs polyesters ainsi que les électrolytiques C4, C5 et C8, en respectant la polarité +/– des deux broches. Si la broche du positif ne devait pas être indiquée sur le boîtier, souvenez-vous qu'elle est toujours plus longue que celle du négatif.

Poursuivez le montage en insérant le pont redresseur RS1, en respectant là aussi la polarité des deux broches +/–, puis montez le circuit intégré stabilisateur IC4, en orientant le côté métallique de son corps vers la droite, comme sur la figure 598.

En haut à droite, insérez le bornier à 2 pôles pour l'entrée de la tension 220 volts, puis le transformateur d'alimentation T1 en fixant son boîtier plastique sur le circuit imprimé à l'aide de deux vis munies de leur écrou.

Figure 597b : Brochage du circuit intégré régulateur 7805 utilisé dans l'étage d'alimentation et d'une diode LED.

Pour finir, retournez le circuit et, sur le côté opposé à celui sur lequel se trouvent les composants, insérez toutes les LED dans les trous du circuit imprimé prévus à cet effet, en insérant la broche la plus longue dans le trou marqué de la lettre "A" et la plus courte dans celui marqué de la lettre "K". Si vous inversez ces deux broches, les LED ne s'allumeront pas.

Si vous avez choisi la solution du montage en boîtier percé et sérigraphié, avant de souder les broches des LED, nous vous conseillons la procédure suivante :

- Mettez en place des entretoises métalliques dans les quatre trous du circuit imprimé.

- Monter les trois inverseurs S1, S2 et S3 sur la face avant du coffret. L'ar-

Figure 598 : Schéma d'implantation de la table de la vérité électronique. Les circuits intégrés IC1, IC2 et IC3 doivent être insérés dans leurs supports avec leur repère-détrompeur en forme de "U" orienté vers la gauche. Le côté métallique du circuit intégré stabilisateur IC4 doit être orienté vers la droite et son petit radiateur de refroidissement doit être placé dessus. Les LED doivent être montées sur le côté opposé du circuit imprimé, en insérant la broche la plus longue (l'anode) dans les trous marqués de la lettre "A" et la broche la plus courte dans les trous marqués de la lettre "K".

Liste des composants LX.5022

R1	=	470 Ω	C1	=	100 nF polyester
R2	=	220 Ω	C2	=	100 nF polyester
R3	=	470 Ω	C3	=	100 nF polyester
R4	=	220 Ω	C4	=	47 µF électrolytique
R5	=	470 Ω	C5	=	470 µF électrolytique
R6	=	470 Ω	C6	=	100 nF polyester
R7	=	220 Ω	C7	=	100 nF polyester
R8	=	470 Ω	C8	=	1 000 µF électrolytique
R9	=	470 Ω	RS1	=	Pont redresseur
R10	=	220 Ω			100 V 1 A
R11	=	470 Ω	DL1/DL20	=	Diodes LED
R12	=	470 Ω	IC1	=	Intégré TTL 7400
R13	=	220 Ω	IC2	=	Intégré TTL 7402
R14	=	470 Ω	IC3	=	Intégré TTL 7486
R15	=	470 Ω	IC4	=	Régulateur 7805
R16	=	220 Ω	T1	=	Transfo. 6 W (T005.01)
R17	=	470 Ω			sec. 8 V 1 A
R18	=	470 Ω	S1	=	Interrupteur
R19	=	220 Ω	S2	=	Inverseur
R20	=	470 Ω	S3	=	Inverseur

rière de ces inverseurs passera au travers du circuit imprimé, dans les lumières découpées à cet effet.

- Fixez, ensuite, le circuit imprimé sur la face avant.

C'est seulement lorsque vous aurez fait entrer le corps des LED dans les trous de la face avant que vous pourrez souder leurs broches sur les pistes du circuit imprimé. Ainsi, vous aurez la certitude que toutes les LED sont bien à la même hauteur.

Pour finir le montage, coupez, à l'aide de pinces coupantes, la partie excédentaire des broches.

A présent, vous pouvez installer les trois circuits intégrés dans leurs supports en orientant leur repère-détrompeur en forme de "U" vers la gauche (voir figure 598).

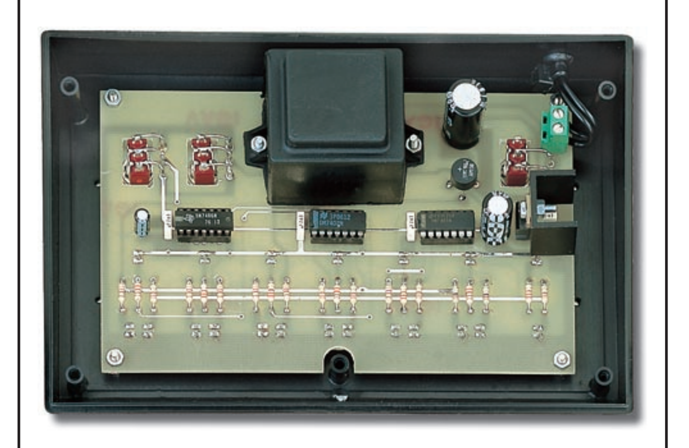


Figure 599 : Photo du circuit imprimé vu du côté des composants. Les LED devront être montées sur le côté opposé.

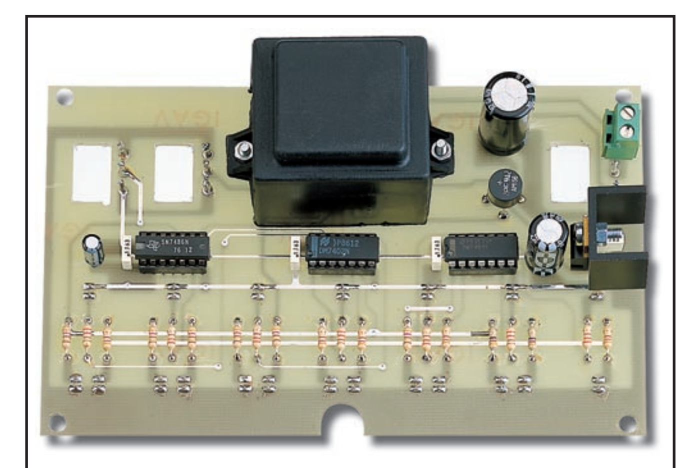


Figure 600 : Avant de souder les LED sur le circuit imprimé, vous devez, si vous avez décidé de monter la table de vérité électronique dans son boîtier, mettre en place 4 entretoises et la face avant (voir texte).

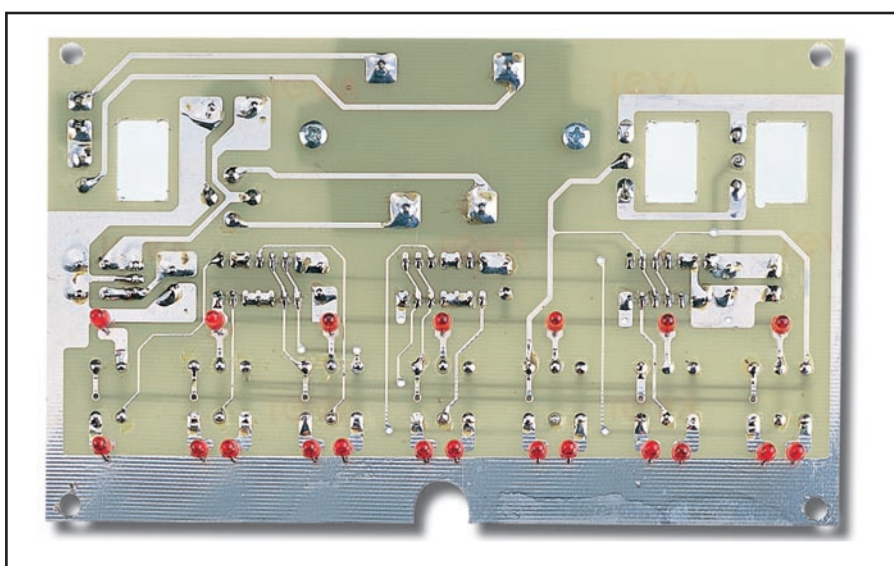


Figure 601 : Une fois le montage terminé, vous pouvez fixer le circuit imprimé à l'intérieur de son boîtier plastique.



Figure 602 : Vous vous rendrez vite compte de l'utilité de cette table de vérité électronique, car elle vous permettra de savoir instantanément quel niveau logique sera présent sur la sortie d'une porte, simplement en modifiant les niveaux logiques sur les entrées.

Faites attention, non seulement à insérer le circuit intégré 7400 dans le support IC1, le circuit intégré 7402 dans le support IC2 et le circuit intégré 74LS86 dans le support IC3, mais veillez également à ce que toutes les broches de chaque circuit intégré entrent bien dans les trous du support, car il n'est pas rare qu'une broche sorte à l'extérieur ou bien qu'elle se replie vers l'intérieur. En utilisant de petits morceaux de fil gainé, soudez les broches des inverseurs S1, S2 et S3 sur les pistes du circuit imprimé, comme indiqué sur la figure 598.

Une fois le montage terminé, vous pouvez le brancher sur la prise secteur 220 volts et commencer à déplacer les leviers des inverseurs S1 et S2 sur les niveaux logiques 1 ou 0.

Grâce à ces simples inverseurs, vous obtiendrez toutes les combinaisons reportées dans la table de la vérité.

En plus de vous faire comprendre le fonctionnement d'une porte logique, ce circuit expérimental a une utilité pratique. Si, plus tard, vous souhaitez monter un circuit numérique, vous saurez immédiatement quel niveau logique on obtient sur telle ou telle sortie de n'importe quelle porte, en appliquant les niveaux logiques 1 ou 0 sur les entrées.

◆ *G. M.*

Coût de la réalisation*

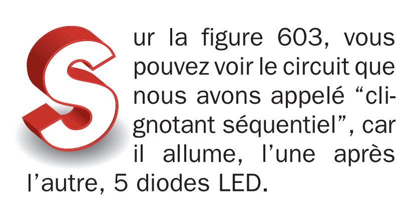
Tous les composants visibles sur la figure 598 pour réaliser la table de vérité électronique LX.5022, y compris le transformateur et le circuit imprimé double face à trous métallisés mais sans le boîtier : 225 F. Le boîtier seul avec sa face avant percée et sérigraphiée : 83 F. Le circuit imprimé double face à trous métallisés seul : 85 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

Le LX.5023, un clignotant séquentiel

Mise en pratique des portes logiques

Après toute cette théorie, bien sûr indispensable, le moment est venu de vous présenter quelques circuits simples et amusants, utilisant les portes logiques. Ne négligez pas cette "mise en jambe", même si elle vous paraît simpliste. son but est de vous faire pratiquer les circuits que nous venons d'étudier. Nous commencerons, dans cette leçon, par un clignotant séquentiel mettant en œuvre un circuit intégré 40106 contenant 6 portes INVERTER.



ur la figure 603, vous pouvez voir le circuit que nous avons appelé "clignotant séquentiel", car il allume, l'une après l'autre, 5 diodes LED.

Pour fonctionner, l'ensemble du circuit ne nécessite qu'un circuit intégré CMOS 40106, à l'intérieur duquel se trouvent 6 portes INVERTER (voir figure 605).

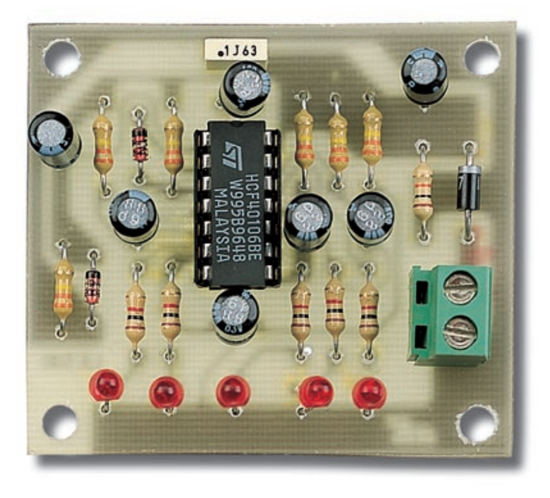


Figure 603 : Photo du clignotant séquentiel réalisé à l'aide de 6 portes logiques (INVERTER) contenues dans un circuit intégré de type 40106.

Comme vous l'avez déjà probablement remarqué sur la figure 606, le schéma électrique est très simple et linéaire. Malheureusement, ce n'est pas le cas de son fonctionnement. En effet, celui-ci n'est pas si aisé à comprendre et c'est pour cela que nous allons vous l'expliquer pas à pas.

Dès que l'on place le circuit sous tension, les LED s'allument de façon aléatoire pendant une fraction de seconde, puis, immédiatement après, le fonctionnement se fait très régulier et les LED s'allument l'une après l'autre, en commençant par DL1.

Pour que la LED DL1 s'allume, il est nécessaire que la broche d'entrée 3 de l'inverseur IC1/B se trouve au niveau logique 0.

C'est en effet seulement à cette condition que l'on retrouve un niveau logique 1 sur sa sortie.

En observant le schéma électrique de la figure 606, vous pouvez remarquer que la broche d'entrée est fixée sur le niveau logique 1 de la résistance R2, reliée aux 12 volts de la tension positive. Pour porter la broche 3 de IC1/B au niveau logique 0, on utilise l'inverseur IC1/A.

En effet, en portant sa broche de sortie 2 (qui n'est autre, en fait, que la broche reliée à la masse) au niveau logique 0, la diode DS2, reliée à la broche 3 de IC1/B, court-circuite à masse la tension positive de 12 volts qui se trouve alors sur cette broche.

On trouve donc automatiquement un niveau logique 0 sur l'entrée.



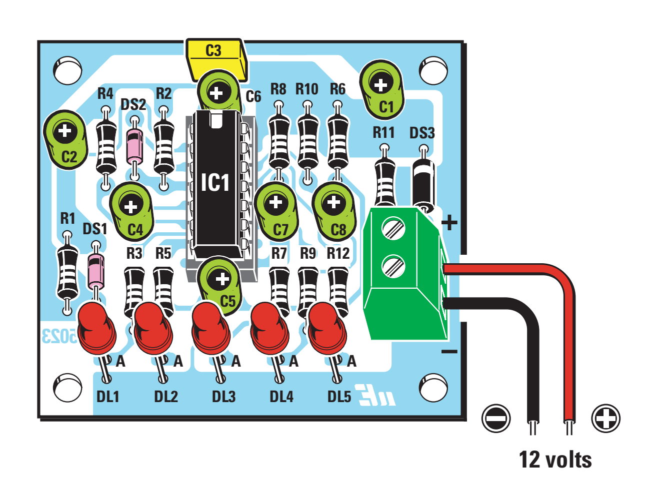


Figure 604a : Schéma d'implantation du montage. L'encoche-détrompeur en forme de "U", présente sur le corps du circuit intégré, doit, dans notre montage, être dirigée vers le condensateur C6. Attention, pour une raison pratique évidente, c'est le trou de l'anode (désignée par la lettre "A") des LED qui a été repéré (la patte la plus longue, voir figure 605).

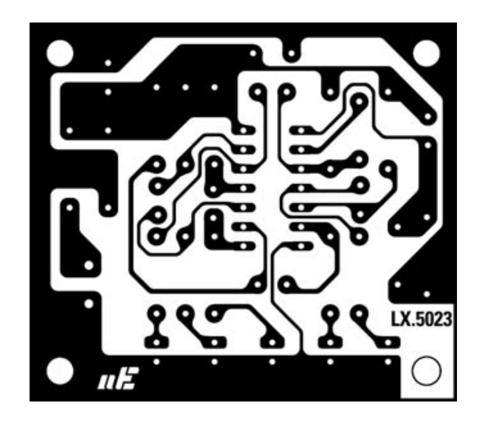


Figure 604b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé du clignotant séquentiel.

Liste des composants LX.5023

R1	=	330 kΩ
R2	=	330 kΩ
R3	=	1 kΩ
R4	=	330 kΩ
R5	=	1 kΩ
R6	=	330 kΩ
R7	=	1 kΩ
R8	=	330 kΩ
R9	=	1 kΩ
R10	=	330 kΩ
R11	=	10 kΩ
R12	=	1 kΩ
C1	=	10 μF électrolytique
C2	=	10 μF électrolytique
C3	=	100 nF polyester
C4	=	4,7 μF électrolytique
C5	=	4,7 μF électrolytique
C6	=	4,7 μF électrolytique
C7	=	4,7 μF électrolytique
C8	=	4,7 μF électrolytique
DS1-DS2	=	Diodes 1N4150
DS3	=	Diodes 1N4007
DL1/DL5	=	Diodes LED
IC1	=	Intégré CMOS 40106

Etant donné qu'il s'agit d'un INVERTER, on trouve un niveau logique 1 sur la broche de sortie 4 qui provoque l'allumage de la LED DL1.

A présent, il nous faut expliquer comment on obtient un niveau logique 0 sur la broche de sortie de IC1/A, étant donné que la broche d'entrée 1 se trouve fixée au niveau logique 0 par la résistance R1 reliée à la masse et étant donné, également, que IC1/A est un INVERTER et que l'on obtient un niveau logique 1 sur la broche de sortie 2.

Comme vous pouvez le remarquer, le condensateur électrolytique C2 est relié à la broche d'entrée 1. C'est grâce à lui que cette broche prend un niveau logique 1 dès la mise sous tension.

En effet, dès que le circuit est mis sous tension, le condensateur électrolytique C2 se trouvant déchargé, il dirige la tension de 12 volts sur la broche 1, c'est-à-dire qu'il la porte au niveau logique 1 et, par conséquent, on retrouve, sur la broche de sortie 2, un niveau logique 0 qui court-circuite à masse la broche 3 de IC1/B par l'intermédiaire de la diode DS2.

C'est ainsi que la LED DL1 reliée sur sa sortie s'allume.

Lorsque le condensateur C2 s'est totalement déchargé, on trouve à nouveau un niveau logique 0 sur la broche 1 de IC1/A et automatiquement, un niveau logique 1 sur la broche de sortie 2.

DS2 ne pouvant plus décharger à masse la tension positive présente sur la broche d'entrée de IC1/B, la LED DL1 s'éteint.

Au moment où cette diode s'éteint, le condensateur électrolytique C4, relié à la broche d'entrée 5 du troisième INVERTER IC1/C est court-circuité. On obtient alors, sur cette broche, un niveau logique 0 qui porte la broche de sortie 6 au niveau logique 1 et c'est ainsi que la LED DL2 s'allume.

Le condensateur électrolytique C6 se décharge alors en l'espace d'environ 1 seconde en reportant au niveau logique 1 la broche d'entrée 5 de IC1/C et, étant donné qu'il s'agit, là encore d'un INVERTER, on retrouve sur la broche de sortie 6 un niveau logique 0 qui fait s'éteindre la LED DL2.

Lorsque DL2 s'éteint, le condensateur électrolytique C5, relié à la broche d'entrée 9 du quatrième INVERTER IC1/D, est court-circuité. On obtient alors sur cette broche un niveau logique 0 qui porte la broche de sortie 8 au niveau logique 1 et c'est ainsi que la LED DL3 s'allume.

Le condensateur électrolytique C5 se décharge alors, après environ 1 seconde, en reportant au niveau logique 1 la broche d'entrée 9 de IC1/D et, étant donné qu'il s'agit d'un INVERTER, on retrouve, sur la broche de



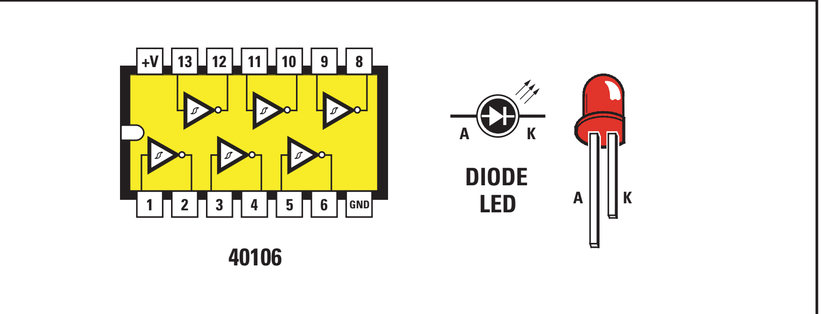


Figure 605 : Schéma synoptique du circuit intégré 40106 et son brochage, vu du dessus. A droite, les connexions A (anode) et K (cathode) d'une diode LED.

densateur électrolytique par le symbole "–". (Oui, oui, c'est répétitif et nous nous en excusons auprès des spécialistes. Néanmoins, un grand nombre de pannes provient de ce type d'erreur, alors, nous répétons et répétons encore !).

Lorsque vous insérez les diodes en verre DS1 et DS2 sur le circuit imprimé, vous devez orienter le côté de leur corps marqué d'une bague vers le haut, comme sur la figure 604a. Il en

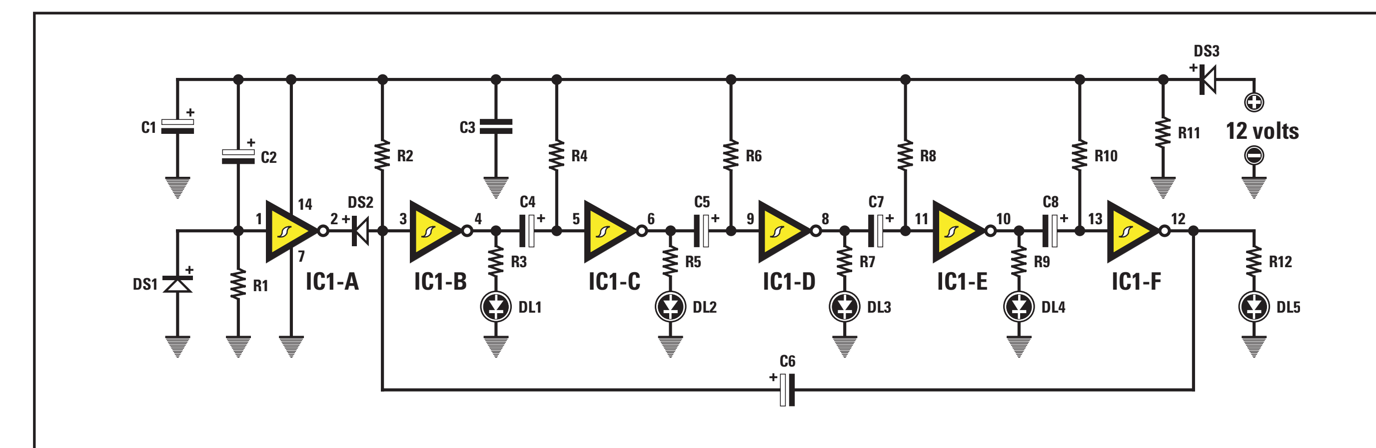


Figure 606 : Schéma électrique du clignotant séquentiel composé principalement de 6 INVERTER et de 5 LED. Ce circuit doit être alimenté à l'aide d'une tension de 12 volts que vous pouvez prélever d'une alimentation stabilisée comme, par exemple, la LX.5004, présentée dans la leçon 7 (ELM numéro 7, page 80 et suivantes).

sortie 8, un niveau logique 0 qui fait s'éteindre la LED DL3.

Le cycle que nous venons de vous décrire se répète ainsi également pour les deux INVERTER IC1/E et IC1/F, en faisant s'allumer l'une après l'autre les LED DL4 et DL5.

Lorsque la dernière LED DL5 s'éteint, c'est le condensateur C6, dont la broche positive est reliée à l'entrée de IC1/B et la broche négative à la sortie de IC1/F, qui permet de relancer l'INVERTER IC1/B, de façon à ce que la LED DL1 se rallume.

En effet, lorsque la LED DL5 s'éteint, le condensateur électrolytique C6, relié à la broche d'entrée 3 de IC1/B, est court-circuité à masse.

On obtient, alors, sur cette broche un niveau logique 0 qui porte la broche de sortie 4 au niveau logique 1.

C'est ainsi que la LED DL1 s'allume, suivie en continu des LED DL2, DL3, DL4 et DL5, les unes après les autres.

La LED DS1, reliée en parallèle à la résistance R1, sert à décharger rapidement le condensateur électrolytique C2 placé sur l'entrée de IC1/A, tandis que la diode DS3, placée en série dans le fil d'alimentation des 12 volts positifs, sert à empêcher que le circuit intégré 40106 ne se grille dans l'éventualité d'une inversion de polarité.

La réalisation pratique

Pour construire ce "clignotant séquentiel" vous devez d'abord réaliser ou vous procurer le circuit imprimé de la figure 604b.

Nous vous conseillons de commencer par installer, sur le circuit imprimé, le support du circuit intégré IC1 (voir figure 604a).

Vous pouvez ensuite poursuivre en insérant toutes les résistances, le condensateur polyester C3 et, pour finir, tous les condensateurs électrolytiques pour lesquels il est primordial que vous respectiez la polarité positive et négative de leurs broches.

La broche négative qui, comme vous pouvez le constater, est toujours plus courte que la broche positive, est généralement indiquée sur le corps du condensateur électrolytique par le symbole

va de même concernant la diode plastique DS3.

Terminez en mettant en place les diodes LED et, étant donné qu'il faut également respecter leur polarité, faites attention que la patte la plus longue (l'anode, voir figure 605) soit bien insérée dans le trou indiqué par un "A" sur la figure 604.

Pour terminer le montage, installez le bornier qui servira aux 12 volts d'alimentation et placez le circuit intégré dans son support, en dirigeant le côté de son corps muni d'une encoche-détrompeur, en forme de U, vers le haut.

◆ ***G. M.***

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 604a pour réaliser le clignotant séquentiel LX.5023, y compris le circuit imprimé : 46 F. Le circuit imprimé seul : 18 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

NOTES

Le LX.5024, un interrupteur crépusculaire

Mise en pratique des portes logiques

Dans la précédente leçon, nous avons réalisé un "clignotant séquentiel" mettant en pratique ce que nous avons appris sur les portes logiques. Nous continuons, et terminerons, par deux montages didactiques. Ceci fait, les portes logiques ne devraient plus avoir aucun secret pour vous !

Vous avez probablement déjà remarqué que les lumières de l'entrée de nombreux immeubles s'allument automatiquement dès que la nuit tombe et s'éteignent, toujours automatiquement, dès que le jour se lève.

Le montage que nous allons maintenant vous présenter effectue cette fonction d'allumer et d'éteindre des éclairages de façon automatique, grâce à une photorésistance.

En observant le schéma électrique de la figure 608, vous pouvez remarquer que pour réaliser ce circuit, il nous faut deux transistors PNP (observez la flèche de la jonction E (émetteur) tournée vers la base), une porte logique 4002 munie de deux NOR IC1/A et IC1/B internes, un relais servant d'interrupteur et, comme élément sensible à la lumière, une photorésistance FR1.

Commençons la description du schéma électrique par le transistor TR1, en vous faisant remarquer que l'émetteur (E) est dirigé vers le haut, c'est-à-dire vers le positif de l'alimentation et le collecteur vers le bas, c'est-à-dire vers la masse puisqu'il s'agit d'un PNP.

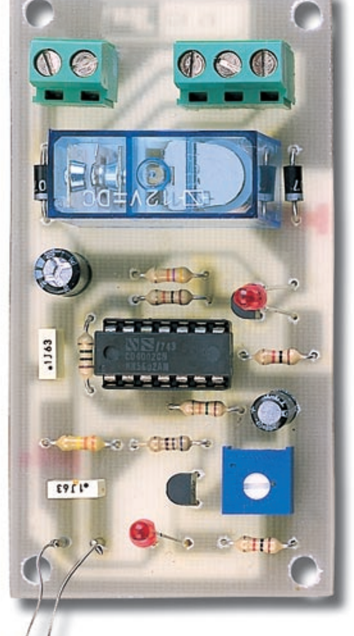


Figure 607 : Voici comment se présente l'interrupteur crépusculaire, LX.5024, une fois le montage terminé. Remarquez la photorésistance, à gauche, qui, dans ce prototype, est raccordée directement (tout comme les LED, d'ailleurs).

Pour faire en sorte qu'il y ait une tension supérieure à 4,5 volts (niveau logique 1) sur le collecteur lorsque la photorésistance FR1 est frappée par une lumière et une tension inférieure à 4 volts (niveau logique 0) lorsque la photorésistance se trouve dans l'obscurité, il faut polariser la base du transistor TR1 à l'aide d'une tension positive d'environ 9,7 volts, que l'on obtient grâce à la LED DL1 et à la résistance R1.

On aurait pu remplacer la LED DL1 par une résistance, mais nous avons préféré la LED parce qu'en s'allumant, elle entraîne une chute de tension d'environ 1,6 volt, faisant ainsi baisser la tension d'alimentation de 11,3 volts par rapport à la valeur requise.

En fait, **11,3 – 1,6 = 9,7 volts.**

Vous avez certainement remarqué que sur les bornes d'alimentation, on applique une tension de 12 volts et non une tension de 11,3 volts, mais il est également vrai que nous avons inséré la diode DS2 en série dans le positif de cette tension afin de protéger le circuit d'une inversion de

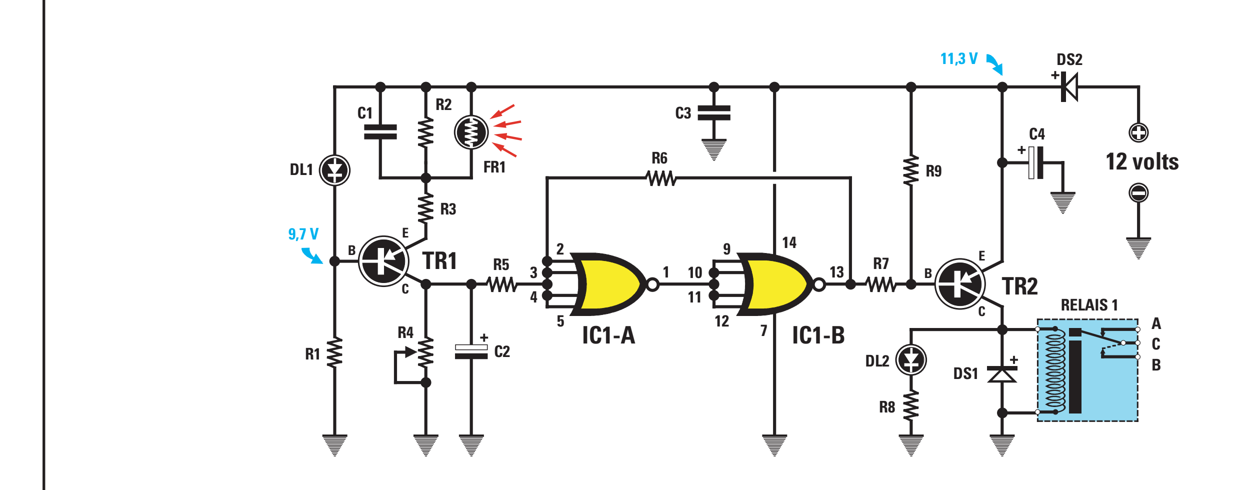


Figure 608 : Schéma électrique de l'interrupteur crépusculaire. Pour régler la sensibilité de cet interrupteur à niveau de luminosité, il faut tourner le curseur du trimmer R4 comme indiqué dans le texte.

polarité. Cette diode fait descendre la tension d'environ 0,7 volt.

En fait, nos 12 volts deviennent donc seulement 11,3 volts.

La photorésistance FR1, comme vous pouvez le constater en observant le schéma électrique, est reliée à l'émetteur de TR1 en parallèle à la résistance R2 de 330 kilohms.

Lorsque la photorésistance se trouve dans l'obscurité, elle prend une valeur ohmique d'environ 2 ou 3 mégohms et, avec une valeur aussi élevée placée en parallèle sur la résistance R2 de 300 kilohms, c'est comme si elle n'était pas là. Dans ces conditions, on retrouve une tension supérieure à 4,5 volts (niveau logique 1) sur le collecteur du transistor.

Dès que la photorésistance est frappée par une lumière, on retrouve sur ses broches une valeur ohmique d'environ 100 ohms et, donc, on n'a plus sur l'émetteur du transistor les 330 kilohms de la résistance R2, mais les 100 ohms de la photorésistance.

Le transistor TR1 devient donc conducteur et c'est alors que l'on retrouve une tension inférieure de 4 volts sur le collecteur, ce qui correspond à un niveau logique 0.

Le niveau logique présent sur le collecteur de TR1 atteint, par l'intermédiaire de la résistance R5, l'entrée de la porte NOR IC1/A utilisé comme INVERTER.

L'entrée de la seconde porte NOR IC1/B, toujours utilisée comme INVERTER, est reliée sur la sortie de IC1/A et, donc, ce niveau logique se retrouve également sur IC1/B.

Le niveau logique présent sur la sortie de la porte NOR IC1/B nous sert à polariser la base du transistor TR2 et, par conséquent, le relais.

Lorsqu'un niveau logique 1 se trouve sur la base de TR1, le relais est désactivé.

Lorsqu'un niveau logique 0 se trouve sur la base de TR1, le relais est activé.

A présent, tachons de suivre les niveaux logiques en partant du collecteur du transistor TR1 jusqu'à la base du transistor TR2.

Photorésistance éclairée

Collecteur TR1	**=**	**niveau logique 1**
Sortie IC1/A	**=**	**niveau logique 0**
Sortie IC1/B	**=**	**niveau logique 1**

Etant donné qu'un niveau logique 1 (tension positive), ne peut pas polariser la base du transistor TR2, qui est un PNP, celui-ci ne peut pas être conducteur et, donc, le relais reste désactivé et la LED DL2 ne pourra pas s'allumer.

Photorésistance dans l'obscurité

Collecteur TR1	**=**	**niveau logique 0**
Sortie IC1/A	**=**	**niveau logique 1**
Sortie IC1/B	**=**	**niveau logique 0**

Le niveau logique 0 court-circuite vers la masse la résistance R7 reliée à la base du transistor TR2, qui devient conducteur, excite le relais et allume la LED DL2.

Dans ce circuit, nous avons utilisé de petites astuces afin de rendre le fonctionnement plus efficace et plus stable.

- Le trimmer R4, relié sur le collecteur de TR1, sert à régler la valeur de la lumière ou de l'obscurité sur laquelle nous voulons que le relais soit activé ou désactivé.

- Le condensateur électrolytique C2, placé sur le collecteur de TR1, empêche que des éclairs de lumière impromptus dus à des orages nocturnes puissent désactiver le relais.

La durée d'un éclair n'est pas suffisamment importante pour que le condensateur C2 puisse être chargé, c'est pourquoi la sortie du collecteur TR1 reste au niveau logique 0.

- La résistance R6, reliée entre la broche de sortie IC1/B et l'entrée de IC1/A, évite que le relais puisse vibrer lorsqu'une tension instable entre le niveau logique 1 et le niveau logique 0 ou vice-versa se trouve sur le collecteur du transistor TR1.

En fait, si la broche de sortie de IC1/B atteint le niveau logique 1, la résistance R6 renvoie la tension positive directement sur l'entrée de IC1/A. Donc, même si la tension sur le collecteur de TR1 descend légèrement, elle ne pourra pas faire varier le niveau logique sur la broche de sortie de IC1/B.

Figure 609a : Schéma d'implantation des composants de l'interrupteur crépusculaire. Ne raccordez pas le secteur 220 volts tant que le circuit imprimé n'est pas monté dans un boîtier obligatoirement en matière plastique. Le circuit doit être alimenté à l'aide d'une tension de 12 volts.

Si la broche de sortie de IC1/B descend au niveau logique 0, la résistance R6 court-circuite vers la masse l'entrée de IC1/A. Donc, même si la tension sur le collecteur de TR1 augmente légèrement, elle ne pourra pas faire varier le niveau logique sur la broche de sortie de IC1/B.

Pour vérifier ce que nous venons d'énoncer, il ne vous reste plus qu'à monter le circuit.

La réalisation pratique

Pour construire cet interrupteur crépusculaire, vous devez d'abord réaliser ou vous procurer le circuit imprimé de la figure 609c puis y insérer tous les composants, comme indiqué sur la figure 609a.

Nous vous conseillons de commencer par le support du circuit intégré IC1, puis de poursuivre avec toutes les résistances, le trimmer R4, les condensateurs polyester C1 et C3.

Pour finir, vous mettrez en place les condensateurs électrolytiques, en respectant la polarité +/– de leurs broches.

Près du relais, insérez les deux diodes DS1 et DS2 en dirigeant la partie de leur corps entourée d'une bague blanche vers la gauche (voir figure 609a).

Poursuivez le montage en insérant les deux borniers sur la droite, puis les deux transistors, TR1 et TR2, en dirigeant la partie plate de leur corps vers le bas.

Finissez en soudant le relais.

Une fois cette opération terminée, placez le circuit intégré IC1 dans son support, en dirigeant son repère-détrompeur en forme de "U" vers le haut.

Pour finir, montez les deux LED DL1 et DL2 en raccordant la patte la plus longue au trou du circuit imprimé indiqué par la lettre A (anode).

Quand vous monterez le circuit dans un boîtier obligatoirement en matière plastique (à cause du 220 volts), vous pourrez déporter les deux LED sur sa face avant.

Liste des composants LX.5024

R1	=	1 kΩ
R2	=	330 kΩ
R3	=	680 Ω
R4	=	50 kΩ trimmer
R5	=	15 kΩ
R6	=	1 MΩ
R7	=	10 kΩ
R8	=	1 kΩ
R9	=	47 kΩ
C1	=	100 nF polyester
C2	=	2,2 µF électrolytique
C3	=	100 nF polyester
C4	=	100 µF électrolytique
DS1-DS2	=	Diodes 1N4007
DL1-DL2	=	Diodes LED
TR1	=	PNP BC328
TR2	=	PNP BC328
FR1	=	Photorésistance
RELAIS 1	=	Relais 12 V 1 RT
IC1	=	Intégré CMOS 4002

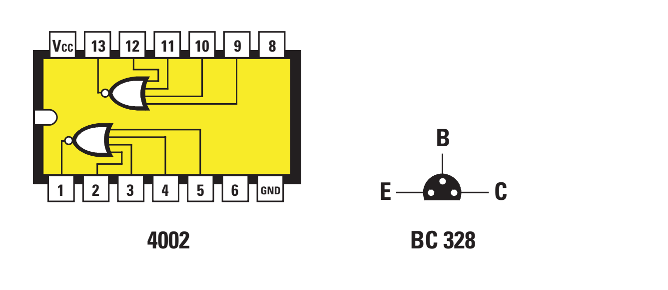


Figure 609b : Brochage du circuit intégré 4002, vu de dessus, ainsi que d'un transistor BC328, vu du dessous.

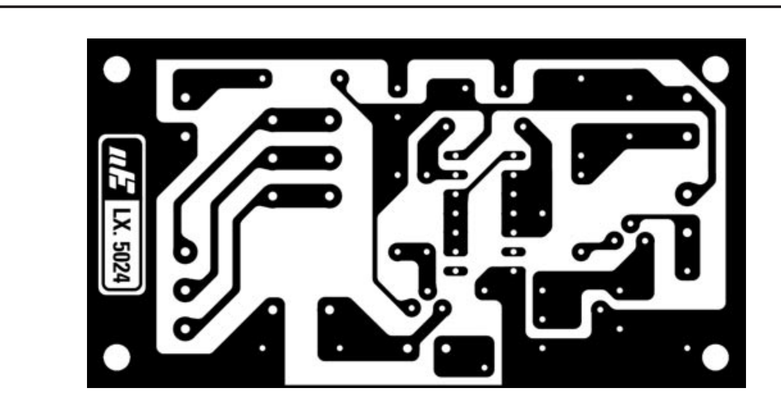


Figure 609c : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé de l'interrupteur crépusculaire.

Les deux pattes de la photorésistance FR1 doivent être reliées aux deux trous placés à côté du condensateur polyester C1 à l'aide de deux fils et sans qu'il soit nécessaire de respecter de polarité. La photorésistance devra, bien entendu, être placée à l'endroit où elle doit capter la lumière et ne pas être éloignée de plus de 20 cm du circuit imprimé. Si elle doit se trouver à l'extérieur, elle pourra être partiellement noyée dans du silicone transparent. Ne recouvrez pas sa tête sinon la sensibilité s'en ressentira.

Pour tester le montage

Pour les réglages, NE RACCORDEZ PAS LE 220 V mais uniquement le 12 V. En effet, certaines pistes sont parcourues par la tension secteur et vous risqueriez de vous électrocuter.

Pour tester ce montage, nous vous conseillons de placer une boîte sur la photorésistance afin de la maintenir dans l'obscurité. Vous pouvez alors tourner le curseur du trimmer R4, jusqu'à ce que la LED DL2 s'allume.

Une fois la LED allumée, retirez la boîte afin d'illuminer la photorésistance. Vous observerez alors que la LED DL2 s'éteint et qu'elle se rallume dès que vous replacez la boîte.

Si vous voulez que le relais soit excité dans une semi-obscurité, vous pouvez soulever la boîte légèrement de façon à ne laisser pénétrer à l'intérieur qu'un peu de lumière. Tournez alors le curseur de R4 jusqu'à ce que la LED DL2 s'allume à nouveau.

Nous avons utilisé le relais comme interrupteur pour pouvoir commander des ampoules de 220 volts la nuit et les éteindre le jour.

Note importante :
Avant d'alimenter le bornier du relais avec une tension de 220 volts, il faut installer le circuit à l'intérieur d'un coffret, obligatoirement en matière plastique, de façon à l'isoler. En effet, comme nous venons de le dire, le secteur 220 volts parcourt certaines pistes en cuivre. Il est donc dangereux de les toucher avec les mains (risque d'électrocution), ou de les faire entrer en contact avec une surface conductrice (risque de court-circuit).

Pour remplacer la tension secteur et visualiser le fonctionnement, vous pouvez utiliser une pile de 4,5 volts ainsi qu'une ampoule basse tension.

Le relais étant à 1 contact repos, 1 contact travail, (1 RT) nous avons prévu deux possibilités (qui peut le plus peut le moins !) :

- Si vous reliez les deux fils aux borniers A et C, l'ampoule reste allumée le jour et s'éteint dès la tombée de la nuit.

- Si vous reliez les deux fils aux borniers C et B, l'ampoule reste éteinte le jour et s'allume dès la tombée de la nuit (ce qui est tout de même plus intéressant !).

◆ *G. M.*



PhotoDisc

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 609a pour réaliser l'interrupteur crépusculaire LX.5024, y compris le circuit imprimé : 85 F. Le circuit imprimé seul : 23 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

La LX.5025, une sirène numérique deux tons

Mise en pratique des portes logiques

Avec ce dernier montage se termine la leçon sur les portes logiques. Encore une fois, ces trois petits montages ont une grande utilité didactique, ne les négligez pas.

Muni d'un circuit intégré du type 40106 équipé de 6 portes logiques INVERTER et de deux transistors NPN, on peut réaliser une petite, mais très intéressante, sirène deux tons.

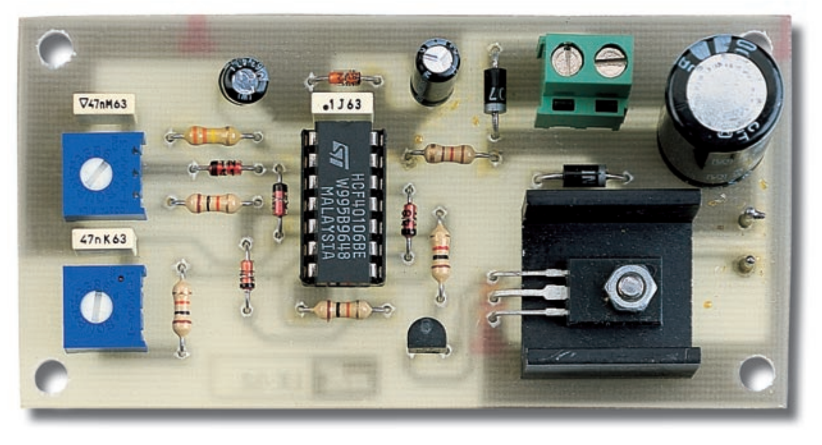


Figure 610 : La sirène bitonale telle qu'elle se présente une fois tous les composants montés.

Si vous regardez le schéma électrique de la figure 611, vous constaterez qu'il n'est pas très facile à comprendre. Nous allons donc vous l'expliquer, aussi simplement que possible, de façon à ce qu'ensuite tout devienne très clair.

Commençons par vous rappeler que dès qu'une porte inverseuse (INVERTER) est mise sous tension, on trouve un niveau logique 0 sur sa broche d'entrée et que, par conséquent, on retrouve un niveau logique 1 sur sa broche de sortie.

Ceci étant dit, nous pouvons commencer par décrire la porte IC1/A sur la broche d'entrée de laquelle est relié le condensateur C1 de 4,7 microfarads.

Comme nous avons un niveau logique 1 sur la broche de sortie 2, cette tension positive charge le condensateur électrolytique C1, en passant à travers la résistance R1.

Une fois que le condensateur s'est chargé, on retrouve un niveau logique 1 sur la broche d'entrée et sur la broche de sortie, qui équivaut à la broche reliée à masse, on retrouve l'inverse, donc un niveau logique 0.

Le condensateur C1 commence à se décharger grâce à la sortie court-circuitée vers la masse, toujours par l'intermédiaire de la résistance R1.

Lorsque le condensateur s'est déchargé, on retrouve à nouveau sur la broche d'entrée un niveau logique 0 et sur la broche de sortie, qui équivaut à la broche reliée à masse, l'inverse, c'est-à-dire un niveau logique 1.

Le condensateur C1 commence à nouveau à se recharger.

Le cycle de charge et de décharge du condensateur C1 se répète à l'infini, donnant sur la broche de sortie 2 de IC1/A un signal à onde carrée que les deux diodes DS1 et DS2, appliquent sur les entrées des deux autres portes INVERTER, IC1/B et IC1/C.

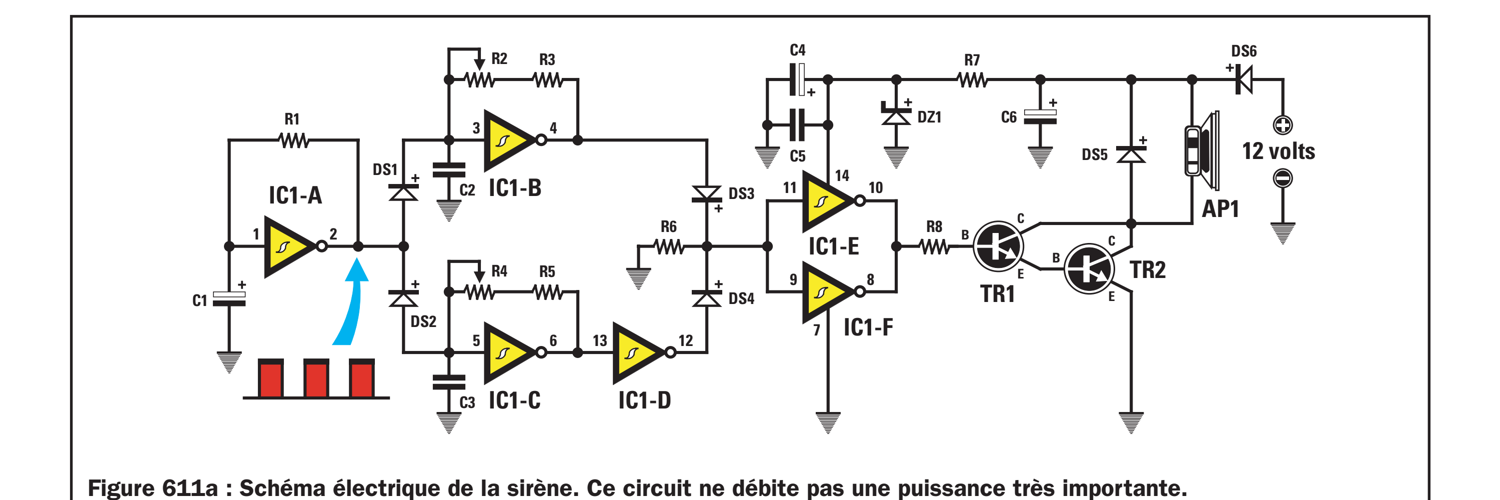


Figure 611a : Schéma électrique de la sirène. Ce circuit ne débite pas une puissance très importante.

Ces deux portes INVERTER ont également un condensateur sur leurs entrées (voir C2 et C3) relié à leur sortie par l'intermédiaire d'une résistance et d'un trimmer (voir R2 et R3, ainsi que R4 et R5).

Etant donné que la capacité de ces deux condensateurs est de seulement 47 nanofarads, ils se chargeront et se déchargeront beaucoup plus rapidement que le condensateur C1 de 4,7 microfarads, relié à IC1/A. C'est pour cette raison que la fréquence des ondes carrées génère une note acoustique audible et dont on peut changer la tonalité en tournant les trimmers R2 et R4.

Pour obtenir deux tons, il faut tourner les deux trimmers de façon à obtenir deux notes différentes. Il faut, en outre, faire en sorte que lorsqu'on entend la note de IC1/B, on n'entende pas celle de IC1/C et vice- versa.

Ce sont les ondes carrées qui sortent de la broche 2 de IC1/A qui, comme nous allons le voir, permettent la commutation automatique.

Lorsqu'une tension positive (niveau logique 1) est présente sur la broche 2 de IC1/A, la diode DS1 court-circuite le condensateur C2, relié à IC1/B, vers le positif d'alimentation.

Donc, l'étage oscillateur ne peut plus émettre de note. Par contre, la note est émise par l'étage oscillateur IC1/C, car la diode DS2, reliée en sens inverse à DS1, ne court-circuite pas vers le positif d'alimentation le condensateur C3 relié à IC1/C.

Lorsqu'un niveau logique 0 se trouve sur la broche 2 de IC1/A, la diode DS1 alimente le condensateur C2, permettant ainsi à l'étage oscillateur IC1/B d'émettre sa note.

Comme un niveau logique 0 équivaut à la broche 2 reliée à la masse, la seconde diode, DS2, court-circuite automatiquement le condensateur C3 de IC1/C vers la masse.

Donc, l'étage oscillateur n'émet aucune note.

Pour conclure, lorsque la porte INVERTER IC1/B émet sa note, la seconde porte INVERTER, IC1/C, reste bloquée.

A l'inverse, lorsque la porte INVERTER IC1/C émet sa note, c'est IC1/B qui se bloque.

Liste des composants LX.5025

R1	=	330 kΩ
R2	=	100 kΩ trimmer
R3	=	10 kΩ
R4	=	100 kΩ trimmer
R5	=	10 kΩ
R6	=	10 kΩ
R7	=	120 Ω
R8	=	1 kΩ
C1	=	4,7 µF électrolytique
C2	=	47 nF polyester
C3	=	47 nF polyester
C4	=	47 µF électrolytique
C5	=	100 nF polyester
C6	=	1 000 µF électrolytique
DS1/DS4	=	Diodes 1N4150
DS5-DS6	=	Diodes 1N4007
DZ1	=	Zener 8,2 V 1/2 W
TR1	=	NPN BC547
TR2	=	NPN BD377
HP1	=	Haut-parleur 8 Ω
IC1	=	Intégré CMOS 40106

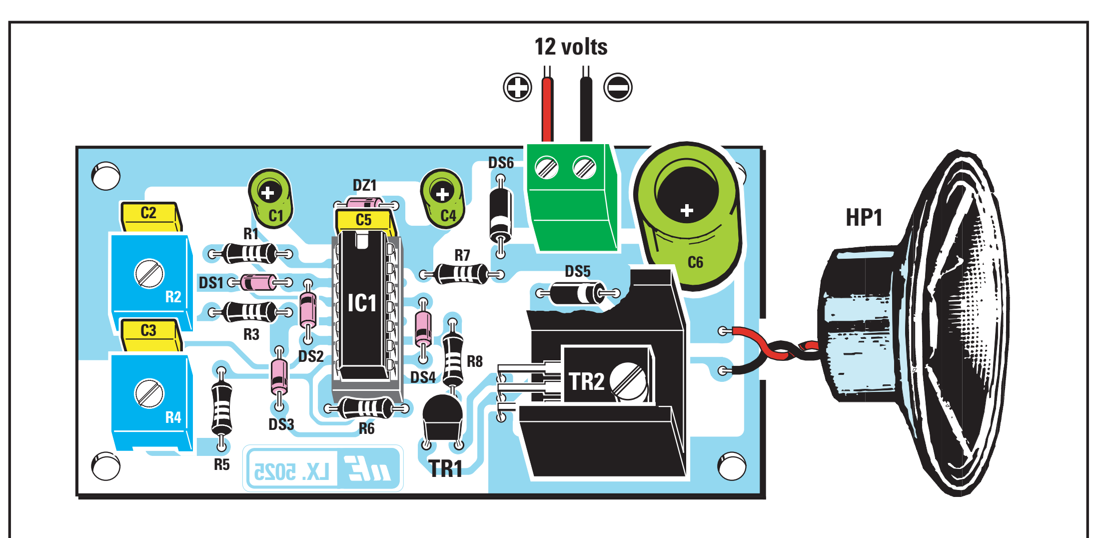


Figure 612 : Schéma d'implantation du montage. Les trimmers R2 et R4 servent à régler la note.

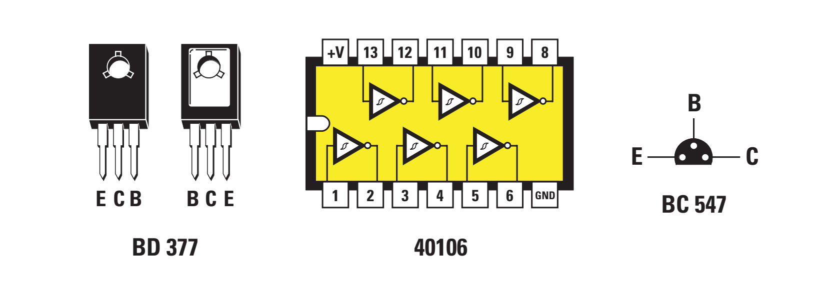


Figure 612b : Brochage du transistor NPN BD377, vu de face et de dos. Brochage du transistor NPN BC547, vu de dessous. Brochage du circuit intégré 40106, vu de dessus.

Lorsqu'un niveau logique 1 se trouve sur la sortie de IC1/B, la tension positive, en passant à travers la diode DS3, atteint les broches d'entrée des portes INVERTER IC1/E et IC1/F, reliés en parallèle, afin d'obtenir un signal de puissance supérieure en sortie.

Lorsqu'un niveau logique 0 se trouve sur la sortie de IC1/C, la seconde porte INVERTER, IC1/D, l'inverse et, en sortie, on retrouve alors un niveau logique 1, c'est-à-dire une tension positive qui, en passant à travers la diode DS4, atteint les deux broches d'entrée des portes INVERTER IC1/E et IC1/F.

Sur les sorties des deux portes INVERTER IC1/E et IC1/F, on retrouve l'une après l'autre, l'onde carrée de la note émise par IC1/B et celle émise par IC1/C, qui atteignent la base du transistor TR1, pour être amplifiées.

Elles passent de ce transistor au transistor TR2, afin d'être encore amplifiées de façon suffisante à pouvoir piloter un petit haut-parleur.

Comme vous pouvez le remarquer, grâce à la flèche placée sur leur émetteur et dirigée vers l'extérieur, ces deux transistors sont des NPN.

Pour alimenter cette sirène deux tons, vous pouvez prélever les 12 volts nécessaires à l'aide de l'alimentation LX.5004 que vous avez réalisée à la leçon 7.

La diode DS6, placée en série sur la tension positive des 12 volts, sert à protéger le circuit au cas où il y aurait une inversion accidentelle de la polarité de l'alimentation.

La diode DS5, placée en parallèle sur le haut-parleur, sert à protéger le transistor de surtensions éventuelles.

La diode zener DZ1, placée après la résistance R7, stabilise la tension sur la broche 14 de IC1, c'est-à-dire du circuit intégré 40106, à une valeur de 8,2 volts.

La réalisation pratique

Pour construire cette sirène numérique deux tons, vous devez réaliser ou vous procurer le circuit imprimé donné en figure 612c et y monter tous les composants comme vous pouvez le voir sur la figure 612a.

Nous vous conseillons de commencer par insérer le support du circuit intégré IC1, puis de poursuivre avec toutes les résistances, les deux trimmers R2 et R4, les condensateurs polyester C2, C3 et C5. Pour finir, insérez les condensateurs électrolytiques C1, C4 et C6, en respectant la polarité +/– de leurs broches.

Poursuivez le montage en insérant les deux diodes plastiques au silicium DS5 et DS6, en dirigeant la partie de leur corps entourée d'une bague comme indiqué sur le schéma d'implantation de la figure 612a, puis les quatre diodes en verre, DS1, DS2, DS3 et DS4, en dirigeant toujours la partie de leur corps entourée d'une bague comme indiqué sur le même schéma.

La diode zener en verre DZ1 se distingue des autres car la référence "8V2" est marquée sur son corps.

La bague de cette diode zener, qui devra être placée derrière le condensateur C5, doit être dirigée vers la droite.

Après avoir inséré le bornier servant aux 12 volts de l'alimentation, vous pouvez insérer le transistor TR1, en dirigeant la partie plate de son corps vers le bas, puis le transistor de puissance, TR2, en le pliant en "L", de façon à ce que sa partie métallique porte sur le petit radiateur de refroidissement en forme de "U".

Finissez en plaçant le circuit intégré IC1 dans son support, en dirigeant son repère-détrompeur en forme de "U" vers C5, puis, à l'aide de deux morceaux de fil, reliez le petit haut-parleur au circuit.

Vous pouvez, dès lors, relier les 12 volts d'alimentation au bornier, en respectant la polarité +/–, pour que le haut-parleur émette une note à deux tons, caractéristique des sirènes des pompiers.

Vous pouvez modifier la tonalité des notes par "tâtonnements", en tournant les curseurs des trimmers R2 et R4.

◆ *G. M.*

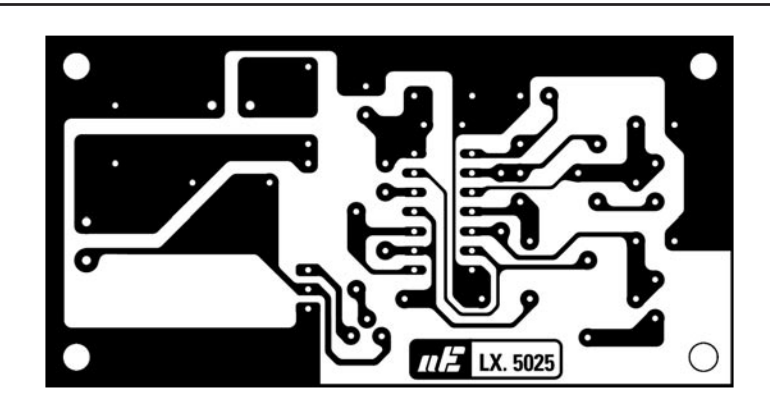


Figure 612c : Dessin, à l'échelle 1, de la sirène numérique deux tons.

Coût de la réalisation*

Tous les composants visibles sur la figure 612a, pour réaliser la sirène numérique deux tons LX.5025, y compris le circuit imprimé : 109 F. Le circuit imprimé seul : 26 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

A la lecture de cette leçon, vous apprendrez que les quatre broches d'entrée d'un décodeur, signalées par les lettres A, B, C et D, ont une valeur respective de 1, 2, 4 et 8, pouvant s'additionner de façon à obtenir des valeurs supplémentaires de 3, 5, 6, 7 et 9, qui serviront à faire apparaître les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 0 sur un seul afficheur.

A présent que vous connaissez toutes les portes logiques NAND, AND, NOR, OR et INVERTER, nous pouvons vous présenter deux circuits intégrés numériques, appelés "décodeur" et "compteur", indispensables pour allumer les 7 segments, indiqués par les lettres a, b, c, d, e, f et g, d'un afficheur. Comme nous ne reculons devant aucun sacrifice, nous vous parlerons également du décodeur-compteur qui, comme son nom l'indique, cumule les deux fonctions !

Si on utilise deux décodeurs, on peut piloter deux afficheurs et, ainsi, commencer par le chiffre 0 pour arriver jusqu'au chiffre 99.

Lorsque vous utiliserez les compteurs, vous découvrirez qu'ils possèdent deux broches d'entrées, l'une qui ne peut compter que les fronts montants des impulsions, c'est-à-dire lorsque ces impulsions à onde carrée passent du niveau logique 0 au niveau logique 1 mais pas l'inverse, et l'autre qui ne peut compter que les fronts descendants, c'est-à-dire lorsque ces impulsions passent du niveau logique 1 au niveau logique 0 mais pas l'inverse. Pour compléter cette leçon, nous vous proposons trois circuits très simples qui, une fois réalisés, vous permettront de voir la facilité avec laquelle on peut changer les chiffres de 0 à 9 sur l'afficheur, grâce à une roue codeuse ou par l'intermédiaire d'un circuit intégré compteur.

Les décodeurs numériques pour piloter les afficheurs 7 segments

Dans la leçon numéro 4, nous vous avions présenté les afficheurs et nous vous avions expliqué que pour allumer tous les chiffres de 0 à 9, il était nécessaire de déplacer manuellement 7 petits interrupteurs.

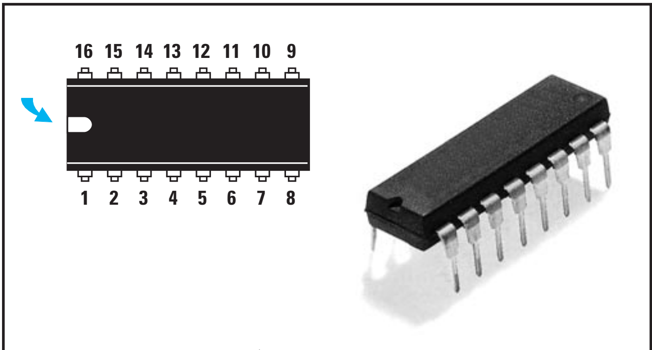


Figure 613 : Pour repérer quelles sont les broches 1-8 et 9-16 sur le corps du circuit intégré, il suffit de diriger le repère-détrompeur en forme de U vers la gauche. Dans cette position, la broche 1 se trouve en bas à gauche et la broche 8, en bas à droite.

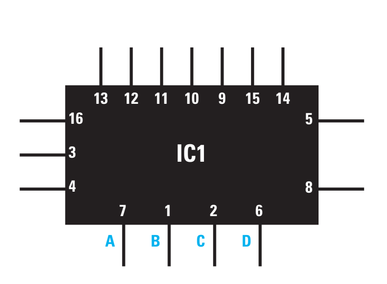


Figure 614 : Dans les schémas électriques, tous les circuits intégrés sont représentés par un rectangle dont les broches sont matérialisées par des fils sortant des quatre côtés, dans un ordre pratique ne correspondant pas à l'ordre logique. Le chiffre en face de chaque fil est celui de la broche correspondante (voir figure 613).

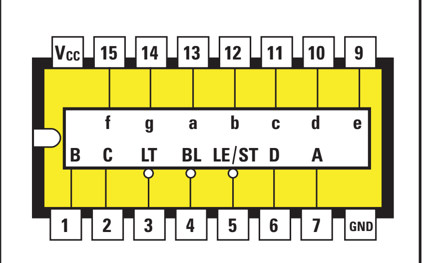


Figure 615 : Schéma interne d'un décodeur servant à piloter les afficheurs. Les broches aux lettres minuscules a, b, c, d, e, f et g doivent être reliées aux broches a, b, c, d, e, f et g de l'afficheur. Les broches aux lettres majuscules A, B, C et D sont les broches d'entrée.

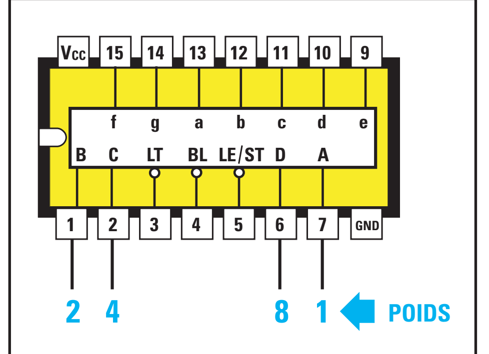


Figure 616 : En reliant les broches A, B, C et D à une tension positive, on verra s'allumer, sur les afficheurs, un chiffre correspondant à leur poids. Broche A poids 1, broche B poids 2, broche C poids 4, broche D poids 8.

Il existe un circuit intégré, appelé "décodeur", permettant de faire apparaître tous les chiffres de 0 à 9, en utilisant seulement 4 interrupteurs au lieu de 7.

Etant donné que ce décodeur est muni de 16 broches, 8 de chaque côté (voir figure 613), pour distinguer la broche 1 de la première file et la broche 9 de la seconde file, il faut regarder le circuit intégré du dessus en dirigeant son repère-détrompeur en forme de U vers la gauche.

Dans cette position, la broche 1 se trouve dans la file en bas à gauche et la broche 9 dans la file en haut à droite.

Dans les schémas électriques, ce décodeur est représenté, comme tous les autres circuits intégrés, par un rectangle (voir figure 614) dont les broches sortent sur les quatre côtés sans respecter l'ordre réel.

Sur chaque fil sortant de ce rectangle, on retrouve toujours un numéro qui indique la broche réelle du circuit intégré.

Ce système de représentation des circuits intégrés dans les schémas électriques s'utilise uniquement afin d'éviter de se retrouver avec de nombreux fils qui, en se croisant, rendraient le dessin très complexe et quasiment illisible.

Il existe de nombreux types de décodeurs pour piloter les afficheurs, chacun étant caractérisé, selon son constructeur, par un nom différent, même s'ils ont tous la même fonction.

Dans le commerce, on trouve des décodeurs TTL qui nécessitent une tension d'alimentation de 5 volts, des décodeurs CMOS qui peuvent être alimentés avec des tensions variables, de 4,5 jusqu'à 15 volts et, pour finir, des décodeurs qui, selon leur type, ne peuvent piloter qu'un afficheur à anode commune un afficheur à cathode commune (nous avons déjà expliqué la différence qui existe entre ces deux types d'afficheur dans la leçon numéro 4).

Les broches marquées par les lettres minuscules a, b, c, d, e, f et g (voir figure 615), servent à alimenter les segments des afficheurs.

Les broches marquées par les lettres majuscules A, B, C et D servent à allumer tous les chiffres de 0 à 9 sur les afficheurs, en portant ces entrées au niveau logique 1. Outre ces broches, il y en a d'autres marquées par les sigles suivants :

Vcc : cette broche 16 doit être reliée à la tension positive d'alimentation.

GND : cette broche 8 est reliée à la masse, c'est-à-dire à la tension négative d'alimentation.

BL : (BLanking), cette broche 4 doit toujours être reliée au positif de l'alimentation, parce que si elle est reliée à la masse, c'est-à-dire au niveau logique 0, le décodeur laisse tous les segments de l'afficheur éteints.

LT : (Lamp Test), cette broche 3 doit également toujours être reliée au positif de l'alimentation, car si elle est reliée à la masse, le décodeur fait s'allumer en même temps les 7 segments. Cette broche sert uniquement à contrôler qu'il n'y a pas de segments "grillés" dans les afficheurs, mais en réalité, on ne l'utilise jamais.

LE/ST : (Latch Enable STrobe), cette broche 5 doit toujours être reliée à la masse car, si on la relie au positif, les niveaux logiques des entrées A, B, C et D ne sont pas codifiés, donc, aucun chiffre ne pourra jamais changer sur l'afficheur.

Les quatre broches d'entrée 7, 1, 2 et 6, marquées par les lettres majuscules A, B, C et D ont une valeur appelée "poids" (voir figure 616) :

la broche 7 marquée A a un poids 1
la broche 1 marquée B a un poids 2
la broche 2 marquée C a un poids 4
la broche 6 marquée D a un poids 8

En appliquant une tension positive, c'est-à-dire un niveau logique 1, sur ces 4 broches, on verra apparaître un nombre égal à leur poids sur l'afficheur.

Si l'on porte la broche A, qui a un poids de 1, au niveau logique 1, le chiffre 1 apparaîtra sur l'afficheur.

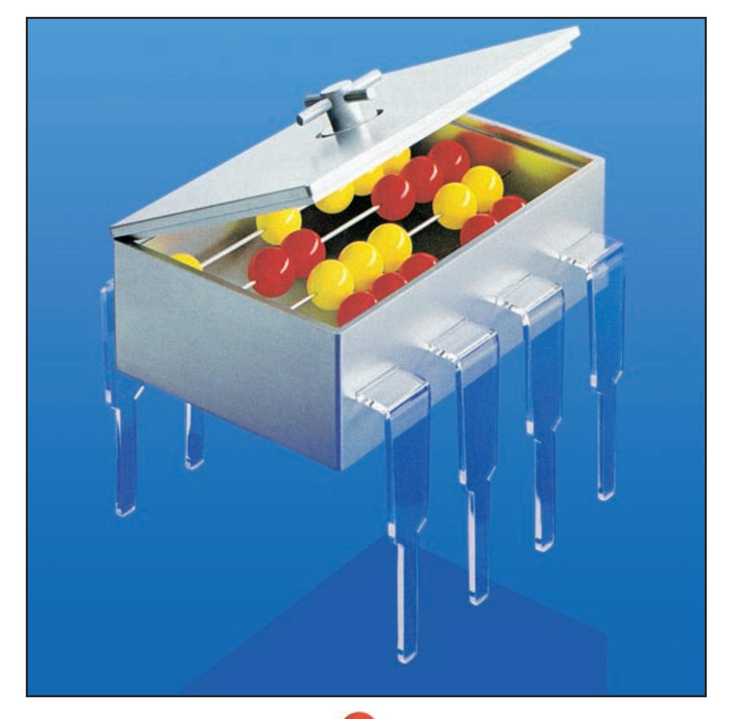




Figure 617 : Avec seulement ces quatre poids, 1, 2, 4 et 8, on peut faire apparaître tous les chiffres de 0 à 9 sur les afficheurs. En admettant que l'on ait une balance et quatre poids de 1, 2, 4 et 8 kg, pour obtenir 3 kg, il nous suffirait de placer sur le plateau un poids de 1 kg et un de 2. Pour obtenir 6 kg, il nous suffirait de placer sur le plateau un poids de 2 kg et un de 4, tandis que pour obtenir 9 kg, il nous suffirait de placer sur le plateau un poids de 1 kg et un de 8.

Si l'on porte la broche B, qui a un poids de 2, au niveau logique 1, le chiffre 2 apparaîtra sur l'afficheur.

Si l'on porte la broche C, qui a un poids de 4, au niveau logique 1, le chiffre 4 apparaîtra sur l'afficheur.

Si l'on porte la broche D, qui a un poids de 8, au niveau logique 1, le chiffre 8 apparaîtra sur l'afficheur.

Pour faire apparaître les chiffres 0, 3, 5, 6, 7 et 9, on devra effectuer la combinaison de ces 4 poids, comme cela adviendrait avec les poids d'une balance (voir figure 617).

Si l'on place sur le plateau de la balance un poids de 1 kilo avec un poids de 2 kilos, la balance indiquera un poids total de 3 kilos.

Si l'on place sur le plateau de la balance un poids de 2 kilos avec un poids de 4 kilos, la balance indiquera un poids total de 6 kilos, etc.

Donc, pour obtenir les chiffres de 0, 3, 5, 6, 7 et 9 avec les quatre poids disponibles, c'est-à-dire 1, 2, 4 et 8, on devra procéder comme suit :

Chiffre 0 : Pour faire apparaître ce chiffre, on ne devra utiliser aucun poids mais relier les quatre broches du décodeur à la masse (niveau logique 0).

Chiffre 3 : Pour faire apparaître ce chiffre, on devra appliquer un niveau logique 1, c'est-à-dire que l'on devra fournir une tension positive aux deux broches qui ont un poids de 1 et de 2, en fait, en additionnant 1+2, on obtient 3.

Chiffre 5 : Pour faire apparaître ce chiffre, on devra appliquer un niveau logique 1 aux deux broches qui ont un poids de 1 et de 4, en fait, en additionnant 1+4, on obtient 5.

Chiffre 6 : Pour faire apparaître ce chiffre, on devra appliquer un niveau logique 1 aux deux broches qui ont un

Tableau 22

chiffre sur afficheur	broches à relier au positif			
	7-A poids 1	1-B poids 2	2-C poids 4	6-D poids 8
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	1	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	0	1	0
6	0	1	1	0
7	1	1	1	0
8	0	0	0	1
9	1	0	0	1

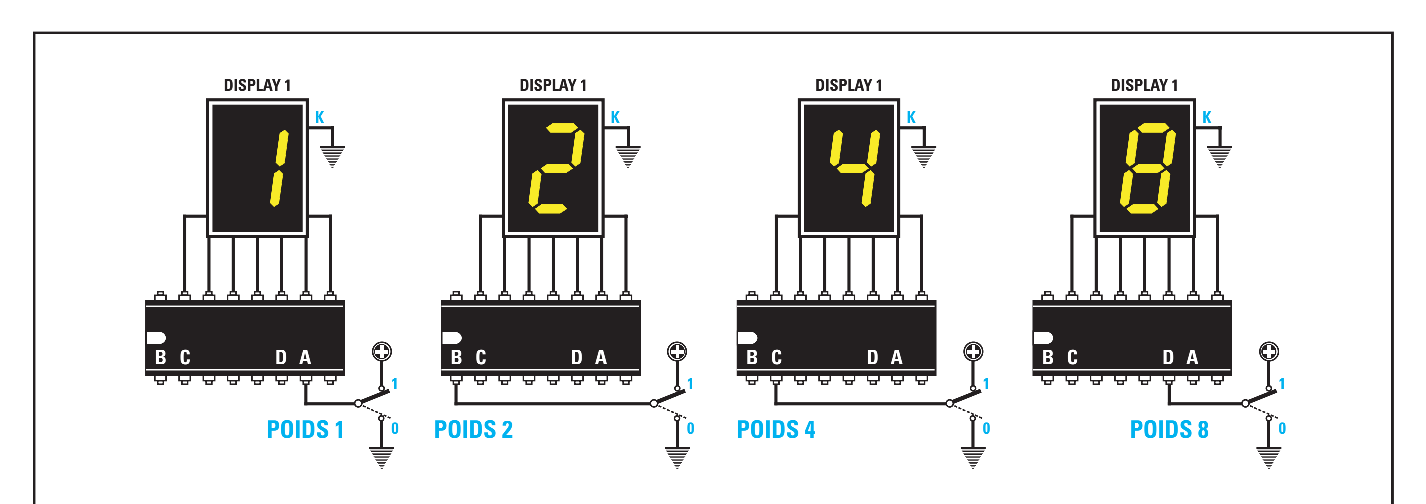


Figure 618 : En reliant seulement la broche A, d'un poids de 1 kg, au positif d'alimentation, on verra apparaître le chiffre 1 sur l'afficheur. En reliant seulement la broche B au positif d'alimentation, on verra apparaître le chiffre 2 sur l'afficheur. En reliant la broche C, on verra apparaître le chiffre 4 et, enfin, en reliant la broche D, on verra apparaître le chiffre 8.

poids de 2 et de 4, en fait, en additionnant 2+4, on obtient 6.

Chiffre 7 : Pour faire apparaître ce chiffre, on devra appliquer un niveau logique 1 aux trois broches qui ont un poids de 1, de 2 et de 4, en fait, en additionnant 1+2+4, on obtient 7.

Chiffre 9 : Pour faire apparaître ce chiffre, on devra appliquer un niveau logique 1 aux deux broches qui ont un poids de 1 et de 8, en fait, en additionnant 1+8, on obtient 9.

Dans le tableau 22, on a indiqué quelles broches doivent être portées au niveau logique 1, c'est-à-dire sur quelles broches on doit appliquer une tension positive, pour faire apparaître tous les chiffres de 0 à 9 sur les afficheurs.

Note : Le chiffre qui précède la lettre A, B, C et D est celui correspondant à la broche du décodeur de type CD4511, utilisée dans ce montage.

Les roues codeuses (commutateurs binaires)

Pour porter les broches A, B, C et D au niveau logique 1, au lieu d'utiliser 4 inverseurs séparés, on utilise un seul commutateur spécifique, appelé roue codeuse (voir figure 623), qui permet d'envoyer la tension positive sur les 4 entrées A, B, C et D du décodeur, en respectant les poids reportés dans le tableau 22.

Sur la partie avant de ces commutateurs se trouve une fenêtre dans laquelle apparaît le chiffre qui sera visualisé sur l'afficheur (voir figure 624).

Sur la partie postérieure du corps de ces commutateurs se trouvent 5 pistes en cuivre qui peuvent être numérotées C 1-2-4-8, ou bien +A-B-C-D.

La piste indiquée par “C” ou “+” doit être reliée à la tension positive d'alimentation.

Les pistes 1, 2, 4 et 8 doivent être reliées aux quatre broches du décodeur, indiquées par A, B, C et D car, en effet, leur chiffre correspond au poids de ces broches. Pour vérifier si, effectivement, les chiffres correspondant au poids des broches s'allument sur l'afficheur, il n'y a qu'une seule solution : monter un circuit équipé d'un décodeur, d'un afficheur, d'un commutateur binaire et le faire fonctionner.

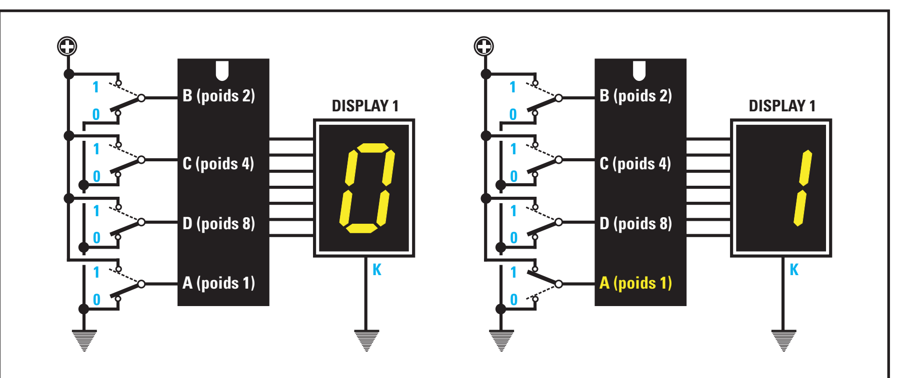


Figure 619 : Pour faire apparaître le chiffre 0, toutes les broches A, B, C et D doivent être reliées à masse. Pour faire apparaître le chiffre 1, vous devrez relier seulement la broche A au positif.

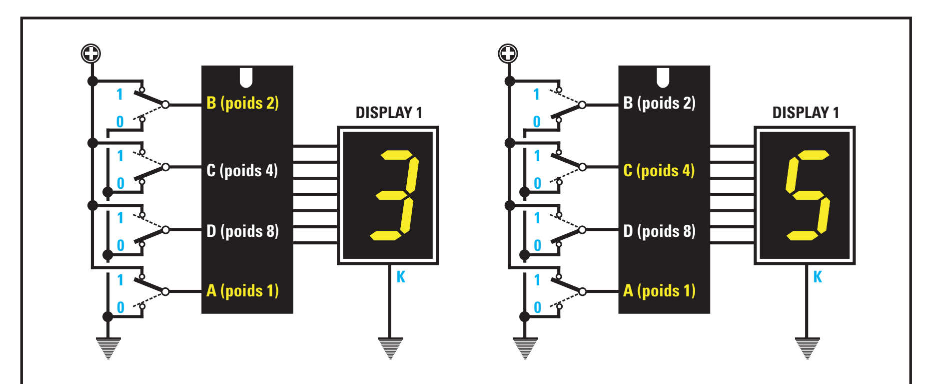


Figure 620 : Pour faire apparaître le chiffre 3, vous devrez relier les broches B et A au positif, tandis que pour faire apparaître le chiffre 5, vous devrez relier les broches C et A au positif.

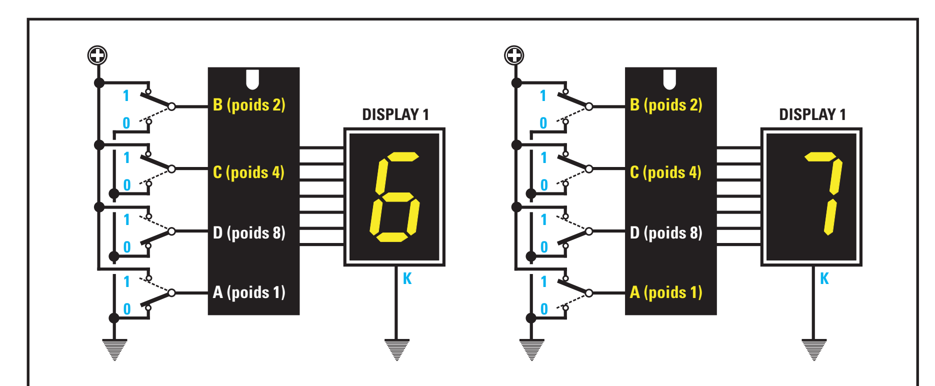


Figure 621 : Pour faire apparaître le chiffre 6, vous devrez relier les broches B et C au positif, tandis que pour faire apparaître le chiffre 7, vous devrez relier les broches B, C et A au positif.

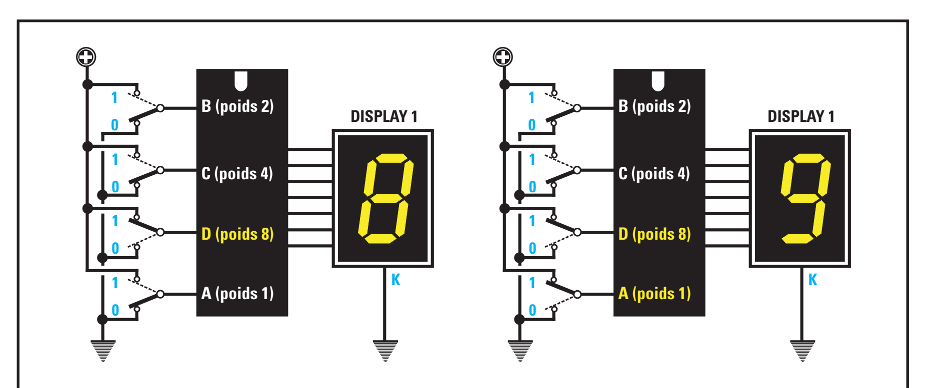


Figure 622 : Pour faire apparaître le chiffre 8, vous devrez relier seulement la broche D au positif, tandis que pour faire apparaître le chiffre 9, vous devrez relier les deux broches D et A au positif.

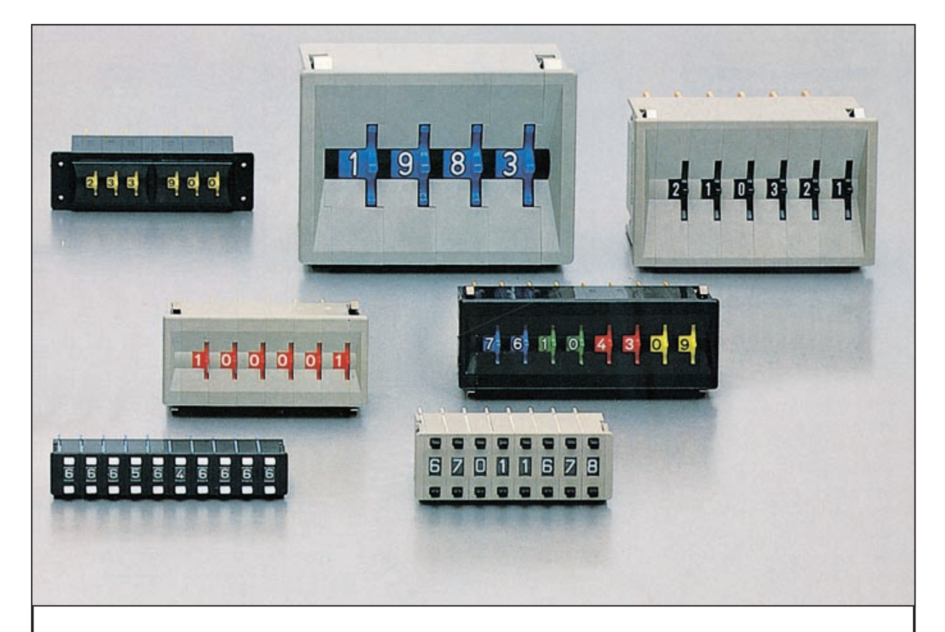


Figure 623 : Au lieu d'utiliser quatre interrupteurs séparés pour appliquer la tension positive sur les broches A, B, C et D, on utilise une roue codeuse (commutateur binaire spécial muni d'une fenêtre). Le chiffre visualisé dans cette fenêtre est celui qui apparaîtra sur l'afficheur.

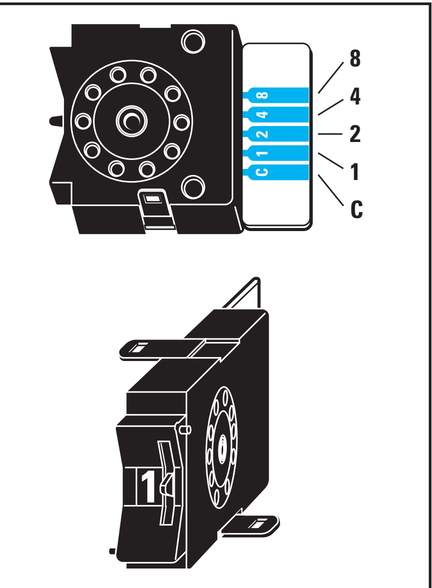


Figure 624 : Sur ces roues codeuses se trouvent cinq pistes sur lesquelles on retrouve les poids 1, 2, 4 et 8. La piste C doit être reliée au positif de l'alimentation.

Le LX.5026, un compteur à 1 chiffre

Figure 625 : Schéma électrique du compteur à 1 chiffre LX.5026 qui utilise une roue codeuse.

Comme vous pouvez le voir sur la figure 625, l'afficheur se trouve sur la partie supérieure du schéma et, puisqu'il s'agit d'un afficheur à cathode commune, sa broche K doit être reliée à la masse.

Les sept broches des segments a, b, c, d, e, f, et g sont reliées aux sorties du décodeur CD4511 par l'intermédiaire de 7 résistances, qui ont pour fonction de limiter le courant consommé à 15 ou 18 milliampères.

Sans ces résistances, l'afficheur serait "grillé" après seulement quelques instants de fonctionnement.

Les 4 broches d'entrée 7-A, 1-B, 2-C et 6-D qui ont respectivement un poids de 1, 2, 4 et 8, sont reliées à la masse par l'intermédiaire de résistances de 10 kΩ (voir R8, R9, 510 et R11), de façon à rester au niveau logique 0 jusqu'à ce qu'on leur applique un niveau logique 1, par l'intermédiaire du commutateur binaire, la roue codeuse S1.

Une LED a été reliée à chaque broche, A, B, C et D pour visualiser la présence d'un niveau logique 1 (LED allumée) ou d'un niveau logique 0 (LED éteinte).

Comme vous pouvez le remarquer, le décodeur est représenté, dans le schéma électrique, par un rectangle noir (voir IC1), des quatre côtés duquel sortent les fils de connexion.

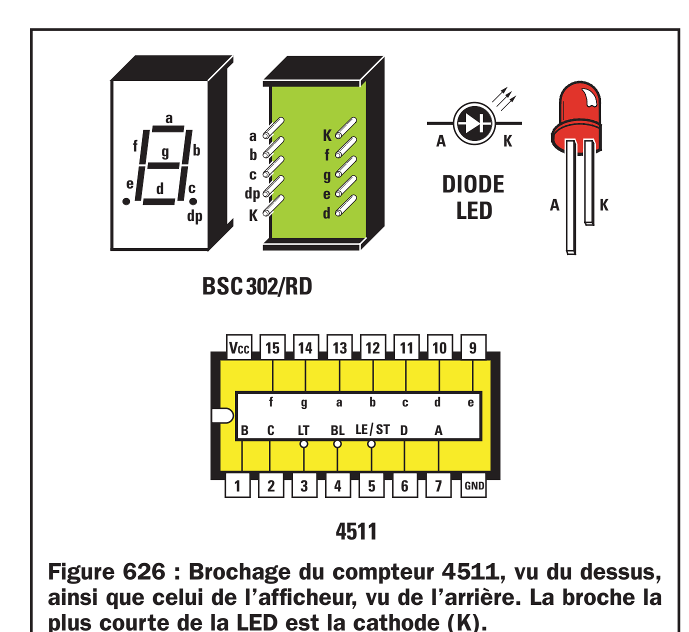


Figure 626 : Brochage du compteur 4511, vu du dessus, ainsi que celui de l'afficheur, vu de l'arrière. La broche la plus courte de la LED est la cathode (K).

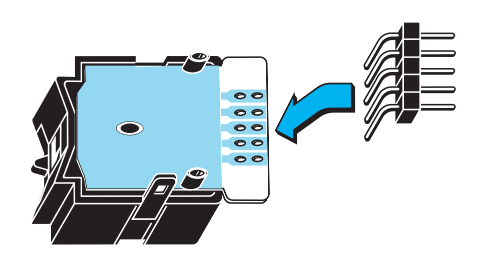


Figure 627 : Avant de mettre en place la roue codeuse S1 dans le circuit imprimé LX.5026, vous devrez d'abord insérer et souder un petit connecteur mâle à 5 broches (extrait d'une barrette sécable) réalisé comme sur cette figure.

En face de chaque fil, le chiffre renvoie au numéro de la broche correspondante sur le circuit intégré (voir figure 626).

La diode DS1, reliée en série au fil de la tension positive d'alimentation, est une protection que nous avons ajoutée afin d'éviter que le circuit intégré ne se grille dans l'éventualité d'une inversion accidentelle de polarité de la tension d'alimentation, sur le bornier.

La réalisation pratique du compteur à 1 chiffre

Lorsque vous disposerez du circuit imprimé LX.5026, vous remarquerez que celui-ci est un double face, c'est-à-dire qu'il a des pistes en cuivre aussi bien au-dessus qu'en dessous, qui sont nécessaires pour relier les broches du décodeur à celles de l'afficheur.

Le circuit professionnel est un double face à trous métallisés. Si vous réalisez vous-même votre circuit, n'oubliez pas de relier entre-elles toutes les pastilles en vis à vis sur les deux faces. Pour cela, vous devrez souder les composants des deux côtés ou souder un petit morceau de fil (un via) faisant office de métallisation.

Vous pouvez commencer le montage en insérant le support de l'afficheur dans le circuit imprimé, ainsi que le support du décodeur référencé CD4511 et le petit connecteur femelle en bande pour insérer la roue codeuse.

Après avoir soudé toutes les broches sur les pistes en cuivre, en faisant attention à ne pas court-circuiter les pistes voisines, vous pouvez insérer un petit connecteur mâle en bande (voir figure 627) dans les pistes de la roue codeuse.

Poursuivez le montage en insérant toutes les résistances, la diode DS1, en dirigeant sa bague vers C1, puis le bornier qui recevra la tension d'alimentation de 12 volts et le condensateur électrolytique C1, sa patte positive orientée vers le bas.

Lorsque vous insérez les LED dans le circuit imprimé, vous devez penser que la patte la plus courte doit être insérée dans le trou qui se trouve en bas du circuit imprimé, marqué de la lettre K (cathode), et la patte la plus longue dans le trou opposé.

Si ces deux pattes sont inversées, les LED ne pourront pas s'allumer.

Une fois le montage terminé, insérez l'afficheur dans son support, en dirigeant son point décimal vers le bas, puis le circuit intégré CD4511, en orientant son repère-détrompeur en forme de U vers la gauche et, pour finir, la roue codeuse dans son connecteur femelle.

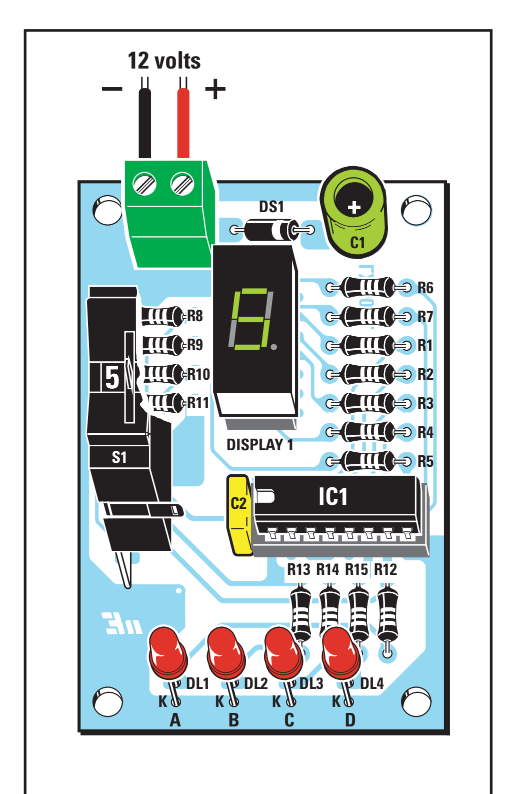


Figure 628a : Schéma d'implantation des composants du compteur à 1 chiffre LX.5026. En tournant la roue codeuse S1, vous verrez changer les chiffres sur l'afficheur.

Liste des composants LX.5026

R1	=	680 Ω
R2	=	680 Ω
R3	=	680 Ω
R4	=	680 Ω
R5	=	680 Ω
R6	=	680 Ω
R7	=	680 Ω
R8	=	10 kΩ
R9	=	10 kΩ
R10	=	10 kΩ
R11	=	10 kΩ
R12	=	1 kΩ
R13	=	1 kΩ
R14	=	1 kΩ
R15	=	1 kΩ
C1	=	100 µF électrolytique
C2	=	100 nF polyester
DS1	=	Diode 1N4007
DL1 - DL4	=	Diodes LED
DISPLAY1	=	Afficheur cathode commune
IC1	=	Intégré CMOS 4511
S1	=	Roue codeuse

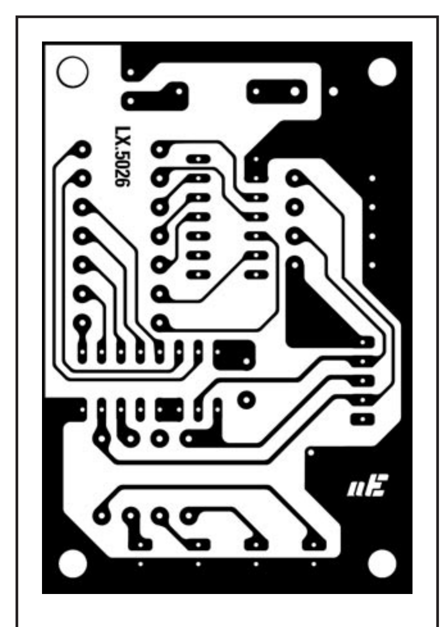


Figure 628b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté soudure du compteur à 1 chiffre LX.5026 (voir texte).

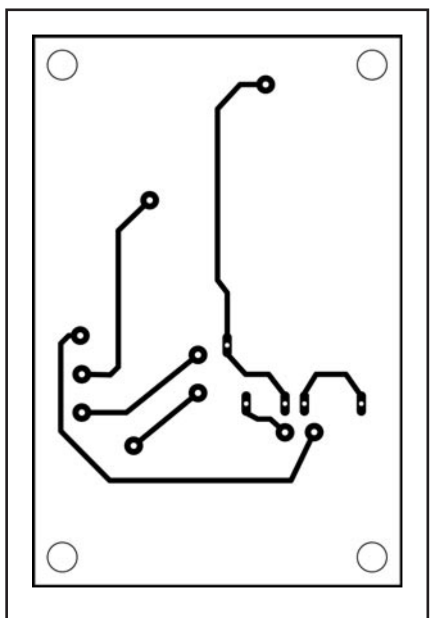


Figure 628c : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté composants du compteur à 1 chiffre LX.5026 (voir texte).

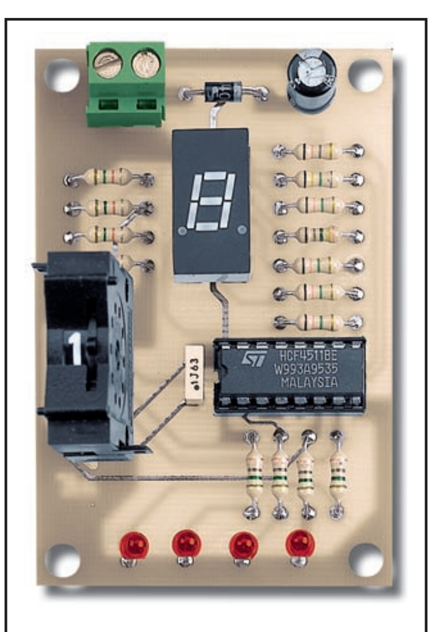


Figure 629 : Voici comment se présente le circuit, une fois tous les composants montés. Comme cette photo est celle d'un prototype, le circuit imprimé n'est pas sérigraphié.

Il est toujours recommandé de vérifier que toutes les broches du circuit intégré et de l'afficheur soient correctement rentrées dans le support car il arrive parfois qu'une broche dépasse ou qu'elle se replie sur elle-même.

Si, au moment de la mise en place, vous remarquez que les broches du circuit intégré sont trop écartées pour pouvoir être insérées dans le support, vous pouvez les rapprocher en les appuyant sur une surface plane.

Une fois le montage terminé et le bornier alimenté par la tension de 12 volts, vous pouvez faire aller la roue codeuse du chiffre 0 au chiffre 9 et, automatiquement, vous verrez apparaître le chiffre choisi sur l'afficheur.

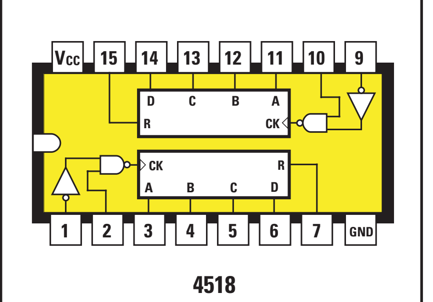


Figure 630 : Vous pourrez remplacer la roue codeuse de la figure 627 par un compteur binaire. A l'intérieur du circuit intégré 4518 se trouvent deux compteurs. Les broches de sortie A, B, C et D ont un poids égal à 1, 2, 4 et 8.

Les circuits intégrés compteurs

La roue codeuse est très pratique pour faire apparaître un chiffre de notre choix sur les afficheurs mais, si l'on souhaitait réaliser un compteur qui permette de faire avancer automatiquement les chiffres en appuyant sur un bouton, on devrait nécessairement remplacer cette roue codeuse par un circuit intégré appelé compteur.

Un tel circuit intégré permet d'envoyer automatiquement les niveaux logiques sur les entrées A, B, C et D du décodeur, toujours en respectant les poids du tableau 22.

Si on utilise le circuit intégré compteur binaire, type CD4518 (voir figure 630), on remarquera qu'il contient 2 compteurs.

Les sorties A, B, C et D du premier compteur sont reliées aux broches 11, 12, 13 et 14, tandis que les sorties A, B, C et D du deuxième compteur sont reliées aux broches 3, 4, 5 et 6.

Les broches d'entrée du 1er compteur sont les broches 9 et 10, et les broches d'entrée du 2e compteur sont les broches 1 et 2.

Les broches 7 et 15, marquées de la lettre R, sont celles du "RESET" (initialisation). Le RESET permet de remettre les chiffres de l'afficheur sur 0. Il aura lieu lorsqu'une impulsion positive sera envoyée sur lesdites broches.

Pour compter, ces deux broches de RESET doivent nécessairement être court-circuitées à masse, c'est-à-dire maintenues au niveau logique 0.

Pour chaque impulsion appliquée sur l'une des deux broches d'entrée, les quatre sorties A, B, C et D se porteront au niveau logique 1 en ordre de poids, c'est-à-dire 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9.

Pourquoi deux broches d'entrée ?

En observant le schéma interne du circuit intégré 4518, vous vous demanderez pourquoi il y a deux broches d'entrées dans chaque diviseur, alors, qu'en fait, un seul est utilisé.

Pour vous l'expliquer, nous nous contenterons d'étudier un seul des deux compteurs, c'est-à-dire celui qui a les broches d'entrée numérotées 9 et 10.

Comme vous pouvez le remarquer, la broche 9 entre dans un INVERTER avant d'entrer dans la broche de la NAND, tandis que la broche 10 entre directement dans la broche opposée.

Pour faire entrer les impulsions sur la broche 9, on devra nécessairement relier la broche 10 au positif (voir figure 631).

Dans cette configuration, le circuit intégré comptabilisera l'impulsion seule-

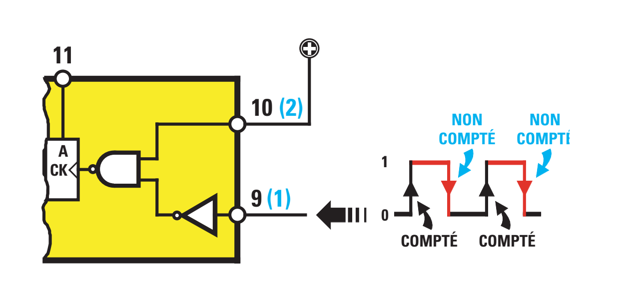


Figure 631 : Le compteur 4518 dispose de deux broches d'entrée, les broches 10 et 9 (2 et 1 pour le second compteur). Si le signal est appliqué sur la broche 9, la broche 10 sera reliée au positif. La broche 9 ne relève que les fronts de montants et pas les fronts descendants.

Figure 632 : Si vous appliquez le signal sur la broche 10, la seconde broche, la 9, devra être reliée à masse. La broche 10 compte seulement les fronts descendants, c'est-à-dire qu'elle comptabilise seulement les impulsions lorsqu'elles passent du niveau logique 1 au niveau logique 0.

ment lorsqu'elle passera du niveau logique 0 au niveau logique 1, mais pas inversement, parce que cette entrée comptabilise seulement les fronts montants et pas les fronts descendants.

Pour faire entrer les impulsions sur la broche 10, on devra nécessairement relier la broche 9 au positif (voir figure 632). Dans cette configuration, le circuit intégré comptabilisera l'impulsion seulement lorsqu'elle passera du niveau logique 1 au niveau logique 0, mais pas inversement, parce que cette entrée comptabilise seulement les fronts descendants et pas les fronts montants.

Vous vous demandez probablement s'il est préférable d'entrer par la broche 9 ou par la broche 10. Sachez que pour certaines applications il est nécessaire d'entrer par la broche 9 et pour d'autres, par la broche 10.

Cette question, donc, trouvera sa réponse dans vos futures applications.

Bien évidemment, dans le second compteur qui se trouve dans le diviseur référencé 4518, la broche 9 correspond à la broche 1 et la broche 10 correspond à la broche 2.

Le LX.5027, un compteur à 2 chiffres



Ce compteur numérique à 2 chiffres (voir figure 633), capable de faire apparaître tous les chiffres de 0 à 99 sur les deux afficheurs de façon manuelle ou automatique, nous est utile afin de vous expliquer pourquoi, dans le premier compteur placé sur la droite, on entre par la broche 9 qui relève seulement les fronts montants (elle compte les impulsions seulement lorsque celles-ci passent du niveau logique 0 au niveau logique 1, mais pas l'inverse), tandis que dans le second compteur, placé sur la gauche, on entre par la broche 2 qui relève les fronts descendants (elle compte les impulsions uniquement lorsque celles-ci passent du niveau logique 1 au niveau logique 0, mais pas l'inverse). Commençons par décrire le premier compteur, placé à droite du circuit intégré 4518 (voir IC3).

Etant donné que nous avons choisi la broche 9 comme entrée, on devra nécessairement relier la broche opposée, la broche 10, au positif d'alimentation.

Ainsi relié, le compteur comptera seulement lorsque la sortie de la NAND IC4/D passera du niveau logique 0 au niveau logique 1, et pas l'inverse.

Pour chaque impulsion qui arrive sur la broche 9, ses broches de sortie 11, 12, 13 et 14 se porteront au niveau logique 1, comme indiqué sur le tableau 23.

Etant donné que ces broches de sortie sont reliées aux broches d'entrée 7, 1, 2 et 6 (A, B, C et D) du premier décodeur 4511, référencé IC2, un chiffre équivalent aux poids des broches, qui se porteront au niveau logique 1, apparaîtra sur son afficheur (voir tableau 24). Comme vous pouvez le remarquer, le plus grand chiffre visible sur cet affi-

Tableau 23	1er DIVISEUR CD4518			
	broches de sortie			
impulsions sur la broche 9	11=3 poids 1	12=4 poids 2	13=5 poids 4	14=6 poids 8
0 impulsion	0	0	0	0
1 impulsion	1	0	0	0
2 impulsions	0	1	0	0
3 impulsions	1	1	0	0
4 impulsions	0	0	1	0
5 impulsions	1	0	1	0
6 impulsions	0	1	1	0
7 impulsions	1	1	1	0
8 impulsions	0	0	0	1
9 impulsions	1	0	0	1
10 impulsions	0	0	0	0

cheur est le 9, car à la dixième impulsion, le chiffre 0 apparaîtra à nouveau (voir tableau 24).

Pour visualiser les nombres 10, 11, 12, etc. Jusqu'à 99, il faut utiliser le second afficheur placé à gauche, que l'on pilotera par l'intermédiaire du second décodeur 4511, référencé IC1 et relié au second compteur placé à l'intérieur du circuit intégré 4518 (voir IC3).

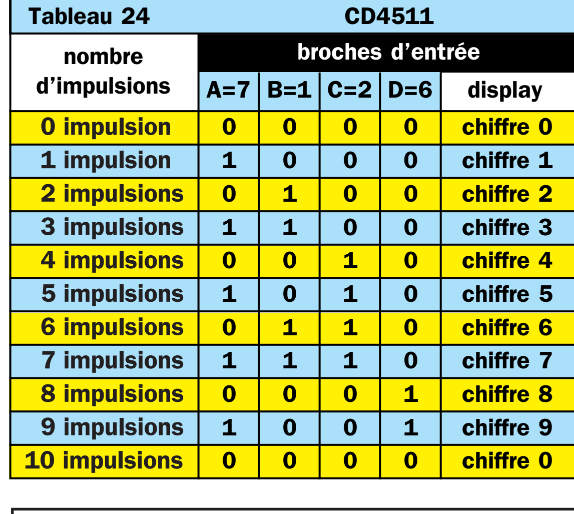


Tableau 24	CD4511				
nombre d'impulsions	broches d'entrée				
	A=7	B=1	C=2	D=6	display
0 impulsion	0	0	0	0	chiffre 0
1 impulsion	1	0	0	0	chiffre 1
2 impulsions	0	1	0	0	chiffre 2
3 impulsions	1	1	0	0	chiffre 3
4 impulsions	0	0	1	0	chiffre 4
5 impulsions	1	0	1	0	chiffre 5
6 impulsions	0	1	1	0	chiffre 6
7 impulsions	1	1	1	0	chiffre 7
8 impulsions	0	0	0	1	chiffre 8
9 impulsions	1	0	0	1	chiffre 9
10 impulsions	0	0	0	0	chiffre 0

Pour que cet afficheur fasse apparaître le chiffre 1 lorsque le premier afficheur passe du chiffre 9 au chiffre 0, on devra relier la broche de sortie 14 du premier compteur à la broche d'entrée 2 du second compteur.

Etant donné que l'on utilise ce second compteur pour compter seulement les fronts descendants (on entre par la broche 2), on devra nécessairement relier la broche opposée, sa broche 1, à la masse. D'ailleurs, à ce propos, vous pourriez parfaitement vous demander pourquoi on utilise ce second compteur pour compter les fronts descendants et pas les fronts montants, comme nous l'avons fait avec le premier compteur.

Si vous observez le tableau 23, vous remarquerez que lorsque le chiffre 8 apparaît sur l'afficheur, la broche 14 du premier compteur se porte du niveau logique 0 au niveau logique 1, créant ainsi un front montant.

Tandis que si l'on avait utilisé la broche 1 pour l'entrée du second compteur, elle aurait immédiatement relevé ce front montant, le chiffre 1 serait alors tout de suite apparu sur l'afficheur de gauche, faisant apparaître le nombre 18 sur les deux afficheurs.

En utilisant la broche d'entrée 2 qui capte les fronts descendants, lorsque la broche 14 se porte au niveau logique 1 après avoir comptabilisé le chiffre 8, le second compteur ne le compte pas et ne le comptera pas même lorsque le chiffre 9 apparaîtra sur l'afficheur de droite.

A la dixième impulsion, lorsque la broche 14 changera de niveau logique en passant du niveau logique 1 au niveau logique 0, on obtiendra un front descendant et la broche d'entrée 2 du second compteur le considérera comme une impulsion à comptabiliser et, en fonction de cette dixième impulsion, le chiffre 1 apparaîtra sur l'afficheur de gauche.

Donc, lorsque l'afficheur de droite passera du chiffre 9 au chiffre 0, on lira le nombre 10 sur les deux afficheurs, puis 11, 12, 13, etc., jusqu'au nombre 19. Lorsque l'afficheur de droite passe du chiffre 9 au chiffre 0 à la 20e impulsion, un front descendant parviendra à nouveau sur le second compteur, et le nombre 20 apparaîtra sur les deux afficheurs.

En passant de la 29e à la 30e impulsion, on verra apparaître le nombre 30 sur les afficheurs, puis, en comptabilisant en poursuivant le comptage au-delà de la 39e impulsion, on verra apparaître le nombre 40, etc. Jusqu'à arriver au nombre 99.

Lorsque le comptage aura atteint le nombre 99, à la 100e impulsion, on verra à nouveau apparaître 0-0 sur les afficheurs.

◆ *À suivre...*

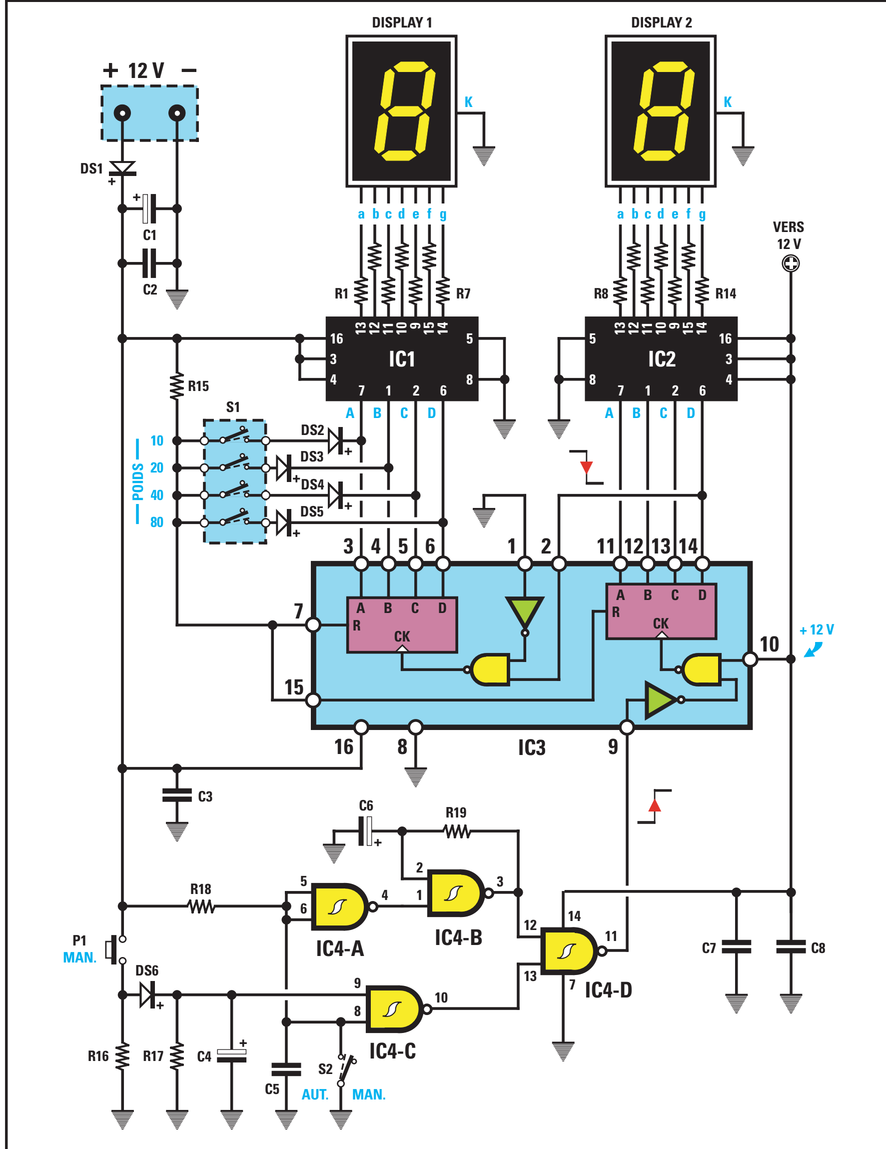


Figure 633 : Schéma électrique d'un compteur à 2 chiffres utilisant un compteur 4518 (voir IC3). L'interrupteur S2 sert à faire avancer les chiffres de façon automatique ou manuelle.

NOTES

Apprendre l'électronique en partant de zéro

Les broches de RESET 7 et 15

Par cette 28e leçon, nous terminons la première partie de notre cours d'électronique en partant de zéro.
Toutefois, soyez rassurés, dès le mois prochain nous commencerons la seconde partie !
Vous y trouverez de nouvelles études et des montages toujours didactiques qui feront de vous des électroniciens confirmés.

Au début de la leçon, nous avons précisé que les broches 7 et 15 marquées de la lettre R, qui signifie "RESET", seront nécessairement reliées à la masse, c'est-à-dire qu'elles seront maintenues au niveau logique 0, alors qu'en regardant le schéma électrique, on découvre que ces deux broches sont alimentées, par l'intermédiaire de la résistance R15, par une tension positive.

Attention à ne pas vous tromper car ces broches, par l'intermédiaire des diodes DS2, DS3, DS4 et DS5 reliées grâce à S1 aux broches 3, 4, 5 et 6, conservent un niveau logique 0.

Nous avons volontairement inséré ces diodes pour vous montrer comment on parvient à programmer un compteur de façon à le faire arriver à un nombre inférieur à 99, c'est-à-dire par exemple, à 20, 30, 40, 50, 60, 80 ou 90.

En fait, lorsque dans quelque temps nous vous proposerons de réaliser une horloge digitale, on devra nécessairement s'arrêter à 60 et ne pas aller jusqu'à 99, étant donné qu'il faut 60 secondes pour composer 1 minute et 60 minutes pour composer 1 heure.

En court-circuitant la diode DS3, le plus grand nombre que l'on parviendra à visualiser sur la broche 4, ce sera le 19, parce qu'à la 20e impulsion, les deux compteurs se remettront à zéro. En fait, la broche de sortie 4 se trouve au niveau logique 0 jusqu'à 19, c'est pourquoi la tension positive que la résistance R15 devrait faire parvenir sur les broches de RESET 7 et 15, sera court-circuitée à masse par la diode DS3, par l'intermédiaire de la broche 4.

Tableau 25	2ème DIVISEUR			
impulsions sur la broche 2	broches de sortie			
	3	4	5	6
19 impulsions	1	0	0	0
20 impulsions	0	1	0	0
30 impulsions	1	1	0	0
40 impulsions	0	0	1	0
50 impulsions	1	0	1	0
60 impulsions	0	1	1	0
70 impulsions	1	1	1	0
80 impulsions	0	0	0	1
90 impulsions	1	0	0	1

Lorsque le nombre 20 apparaîtra, la broche 4 se portera au niveau logique 1 (voir tableau 25), donc la tension positive de la résistance R15 pourra atteindre les broches de RESET 7 et 15 et à cet instant précis, les chiffres 0-0 apparaîtront sur les deux afficheurs.

On ne verra jamais le nombre 20 car le RESET changera instantanément le 2 par le 0.

Si l'on essaie à présent de relier la diode DS3 d'une valeur de 20 à la diode DS4 d'une valeur de 40, le compteur comptera jusqu'à 60, puis précisément jusqu'à 59, car, lorsqu'il arrivera à 60, il passera instantanément à 0-0.

Vous pensez probablement que dès que le compteur arrivera à 20 et que la broche 4 se trouvera au niveau logique 1, la tension positive qui se trouve sur la résistance R15 atteindra les broches de RESET 7 et 15.

En réalité, cela ne se produit pas car il ne faut pas oublier que la diode DS4, reliée à la broche 5, conservera cette tension positive court-circuitée à masse parce qu'elle se trouve au niveau logique 0.

Lorsque le compteur arrivera à 40, puis à 50, même si la broche 5 se porte au niveau logique 1, la diode DS3 reliée à la broche 4 court-circuitera à masse la tension positive, comme vous pouvez le constater en regardant le tableau 25.

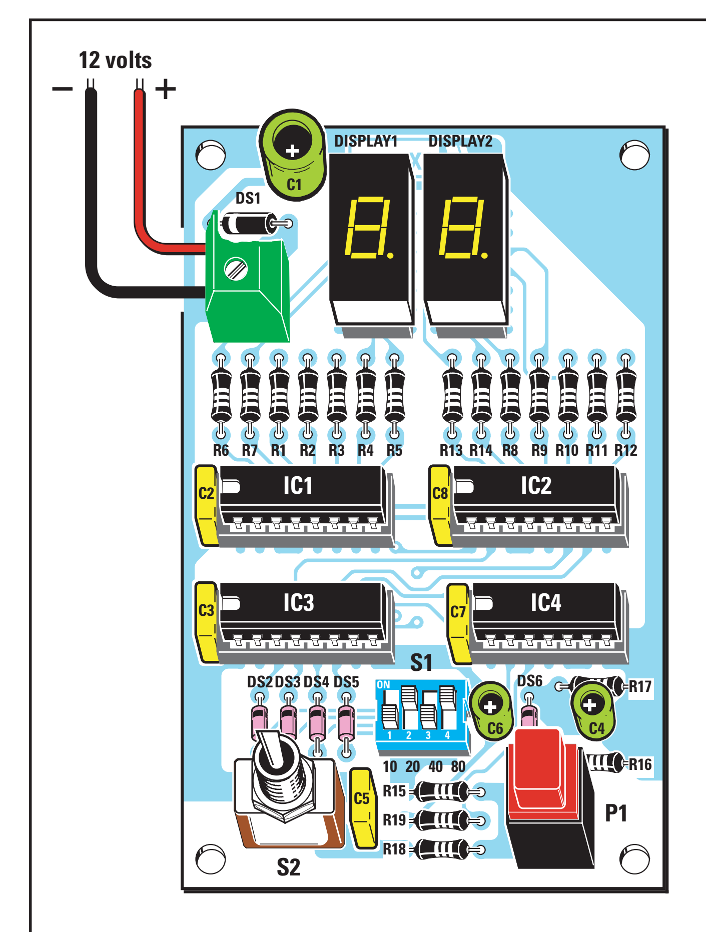


Figure 634a : Schéma d'implantation des composants du compteur à 2 chiffres LX.5027. En déplaçant les inverseurs du dip-switch S1 qui ont un poids de 10, 20, 40 et 80, on peut remettre à zéro le comptage sur les nombres 9, 19, 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89 et 99. Pour arriver au plus grand nombre, c'est-à-dire à 99, vous devrez utiliser les deux poids 20 + 80.

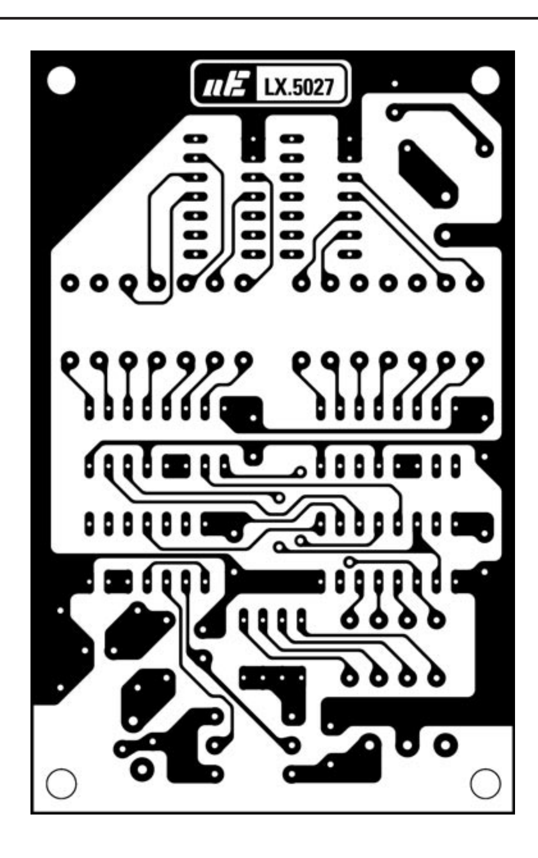


Figure 634b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté soudure du compteur à 2 chiffres LX.5027 (voir texte).

Liste des composants LX.5027

R1 - R14	=	680 Ω
R15	=	10 kΩ
R16	=	4,7 kΩ 1/4 watt
R17	=	10 kΩ 1/4 watt
R18	=	10 kΩ 1/4 watt
R19	=	330 kΩ 1/4 watt
C1	=	100 µF électrolytique
C2	=	100 nF polyester
C3	=	100 nF polyester
C4	=	1 µF électrolytique
C5	=	100 nF polyester
C6	=	1 µF électrolytique
C7	=	100 nF polyester
C8	=	100 nF polyester
DS1	=	Diode 1N4007
DS2 - DS6	=	Diodes 1N4150
DISPLAY 1	=	Afficheur cathode commune
DISPLAY 2	=	Afficheur cathode commune
IC1	=	Intégré CMOS 4511
IC2	=	Intégré CMOS 4511
IC3	=	Intégré CMOS 4518
IC4	=	Intégré CMOS 4093
S1	=	Dip-switch 4 interrupteurs
S2	=	Interrupteur
P1	=	Poussoir

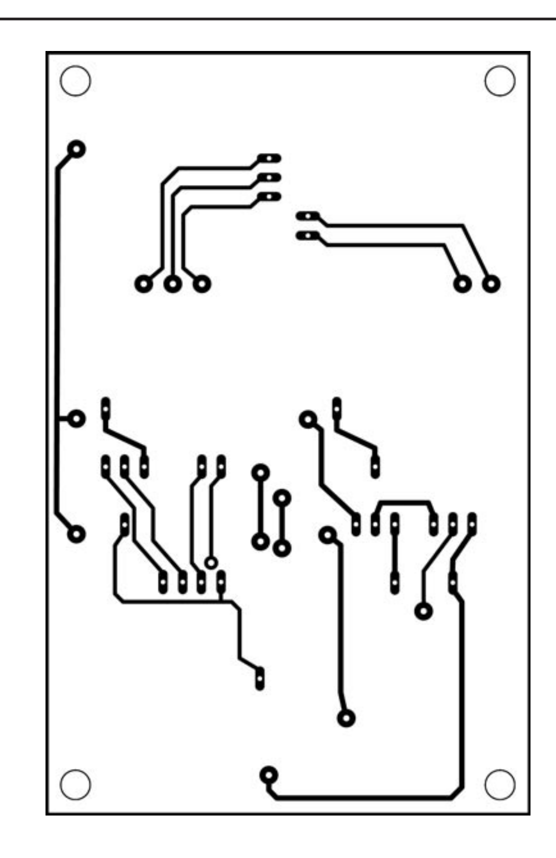


Figure 634c : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté composants du compteur à 2 chiffres LX.5027 (voir texte). N'oubliez pas de réaliser toutes les liaisons entre les deux faces.

Lorsque le compteur arrivera à 60, les broches de sortie 4 et 5 se porteront toutes les deux au niveau logique 1.

Les deux diodes DS3 et DS4 ne pourront alors plus court-circuiter à masse la tension positive de la résistance R15 et celle-ci atteindra donc les broches de RESET 7 et 15 qui remettront à zéro le comptage en faisant apparaître 0-0 sur les afficheurs.

Pour arriver à 99, on devrait nécessairement relier les diodes DS3 et DS5, qui ont une valeur de 20 et 80, aux broches de RESET afin d'obtenir un comptage de 20 + 80 = 100.

Pour arriver à compter jusqu'à un maximum de 30, on devrait nécessairement relier les diodes DS2 et DS3, qui ont une valeur de 10 et 20, aux broches de RESET afin d'obtenir un comptage de 10 + 20 = 30.

Une fois le montage terminé, essayez de court-circuiter les différents poids reportés sur le côté du dip-switch S1. Vous constaterez que le comptage se remettra à 0 un nombre avant le poids total :

poids 10	on arrive à 9
poids 20	on arrive à 19
poids 10 + 20	on arrive à 29
poids 10 + 40	on arrive à 49
poids 20 + 40	on arrive à 59
poids 10 + 20 + 40	on arrive à 69
poids 80	on arrive à 79
poids 10 + 80	on arrive à 89
poids 20 + 80	on arrive à 99

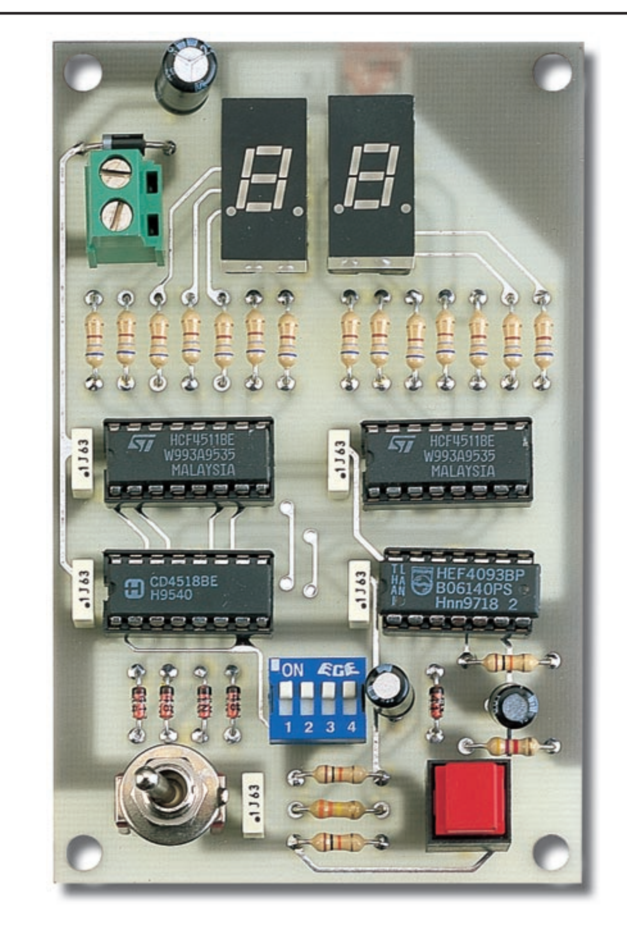


Figure 635 : Photo du compteur à 2 chiffres tel qu'il se présente une fois le montage terminé. Cette photo étant celle d'un prototype, le circuit imprimé n'est pas sérigraphié. Si vous déplacez le levier de l'inverseur S2 vers la droite, vous devrez appuyer sur le bouton P1 de façon à faire avancer les chiffres. En le déplaçant vers la gauche, les chiffres avanceront automatiquement.

La fonction des 4 NAND

Pour faire avancer les chiffres sur les afficheurs de façon manuelle ou en mode automatique, nous avons utilisé un autre circuit intégré, type 4093, équipé de 4 NAND.

Interrupteur S2 ouvert

En conservant l'interrupteur S2 ouvert (voir figure 637), sur la broche 8 de la NAND IC4/C, on retrouve un niveau logique 1 fourni par la résistance R18 reliée à la tension positive d'alimentation.

Etant donné que sur la broche opposée 9, reliée à masse par l'intermédiaire de la résistance R17, se trouve un niveau logique 0, on trouvera sur la sortie de la NAND un niveau logique 1. En effet, si vous regardez la table de la vérité de la NAND (voir figure 647), vous pourrez constater qu'en appliquant 0 et 1 sur les entrées, on obtiendra un niveau logique 1 en sortie.

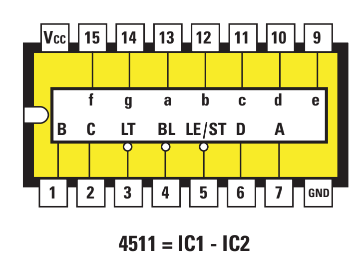
Ce niveau logique 1 arrivera sur la broche d'entrée 13 de la dernière NAND référencée IC4/D, et, puisque la broche opposée 12 se trouve au niveau logique 1, on obtiendra en sortie 1 – 1 = 0.

En appuyant sur le bouton P1 (voir figure 638), la tension positive d'alimentation passe à travers la diode DS6 et va charger le condensateur électrolytique C4.

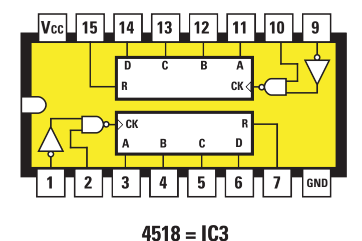
On trouve ainsi, sur les deux broches de la NAND IC4/C, la condition logique 1-1, qui donnera un niveau logique 0 en sortie.

On obtiendra ainsi la condition 1-0 sur les broches d'entrée de la dernière NAND référencée IC4/D, et donc sa broche de sortie 11 se portera au niveau logique 1.

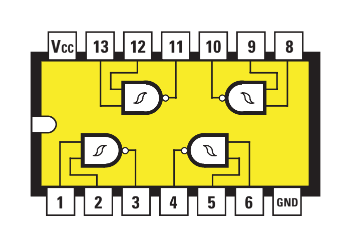
Cette sortie étant reliée à la broche 9 du premier compteur, on obtiendra un front de montée que le compteur



4511 = IC1 - IC2



4518 = IC3



4093 = IC4

Figure 636 : Brochage des circuits intégrés vu du dessus. Lorsque vous insérez ces circuits intégrés dans leurs supports respectifs, vous devez contrôler la référence qu'ils portent sur leur corps, en faisant attention à orienter le repère-détrompeur en forme de U vers la gauche (voir figure 634).

relèvera comme étant une impulsion valide, et donc le chiffre sur l'afficheur avancera d'une unité.

Interrupteur S2 fermé

En fermant l'interrupteur S2 (voir figure 639), la broche 8 de la NAND IC4/C se portera au niveau logique 0 et, puisque sur la broche opposée 9 se trouve déjà un niveau logique 0 (en raison de la présence de la résistance R17 reliée à la masse), sur la sortie de cette NAND, on trouvera un niveau logique 1.

En consultant la table de la vérité d'une NAND (voir figure 647), on constatera qu'en appliquant 0-0 sur les entrées, on obtiendra un niveau logique 1 en sortie.

En appuyant sur le bouton P1 (voir figure 640), même si un niveau logique 1 arrive sur la broche opposée, la sortie ne changera pas, et on obtiendra donc à nouveau un niveau logique 1, c'est-à-dire 0 – 1 = 1.

En fermant l'interrupteur S2, les entrées de la NAND IC4/A reliée comme INVERTER se porteront au niveau logique 0 et, par conséquent, on retrouvera un niveau logique 1, qui rentrera par la broche 1 de la troisième NAND IC4/B, sur sa sortie.

En supposant que la broche opposée 2 se trouve au niveau logique 0, lorsque la condition logique 0-1 se trouve sur les entrées, on obtient un niveau logique 1 sur la broche de sortie 3, c'est-à-dire une tension positive.

Dans ces conditions, la résistance R19 commencera à charger le condensateur électrolytique C6 et lorsque celui-ci se sera chargé, sa broche d'entrée 2 se portera au niveau logique 1 et on obtiendra donc 1-1 sur les deux broches d'entrée.

En consultant la table de la vérité d'une NAND, on remarquera que si la condition logique 1-1 se trouve sur les entrées, sa broche de sortie se porte au niveau logique 0, qui correspond à une broche court-circuitée à masse.

En reliant à masse la résistance R19, le condensateur électrolytique C6 commencera à se décharger et lorsqu'il sera entièrement déchargé, la broche 2 d'entrée de la NAND se portera au niveau logique 0.

On obtiendra alors la condition 0-1 sur les entrées, ce qui provoquera le passage de la broche de sortie 3 au niveau logique 1 et, par conséquent, le condensateur électrolytique C6 commencera à nouveau à se charger.

Ce condensateur C6 qui se chargera et se déchargera en cycle continu, nous fournira en sortie des ondes carrées dont la fréquence dépendra de sa valeur et de la valeur de la résistance R19.

Avec les valeurs utilisées, on obtiendra une fréquence d'environ 3 hertz (3 impulsions par seconde), que l'on appliquera sur la broche d'entrée 12 de la dernière NAND référencée IC4/D.

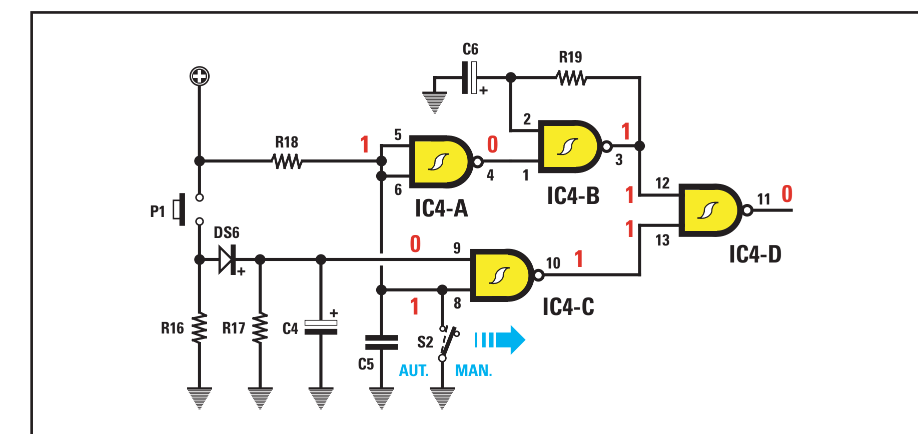


Figure 637 : Avec l'inverseur S2 ouvert, on retrouvera un niveau logique 0 sur la broche de sortie de la dernière NAND IC4/D. Si vous contrôlez la table de la vérité des NAND (voir figure 647), vous découvrirez qu'en appliquant un niveau logique 1-1 sur les entrées, on obtiendra en sortie un niveau logique 0.

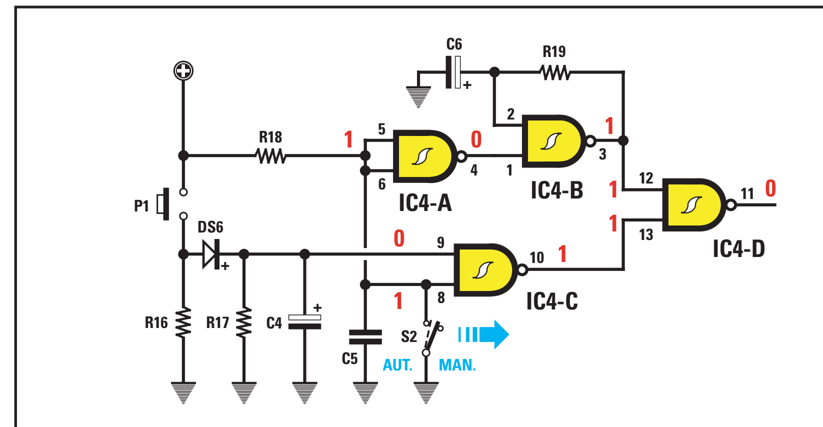


Figure 638 : En appuyant sur le bouton P1 avec S2 ouvert, sur la broche de sortie de IC4/D, le niveau logique passera de 0 à 1 et on aura alors un front de montée que vous pourrez appliquer sur la broche 9 du compteur 4518.

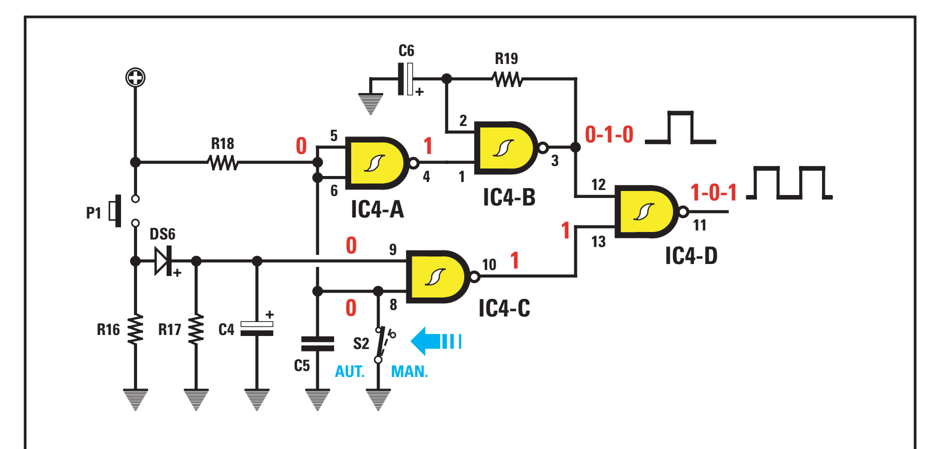


Figure 639 : En fermant l'inverseur S2, l'étage oscillateur IC4/B entrera en fonction. Le signal à onde carrée qu'il générera sera transféré de IC4/D vers la broche 9 du compteur 4518.



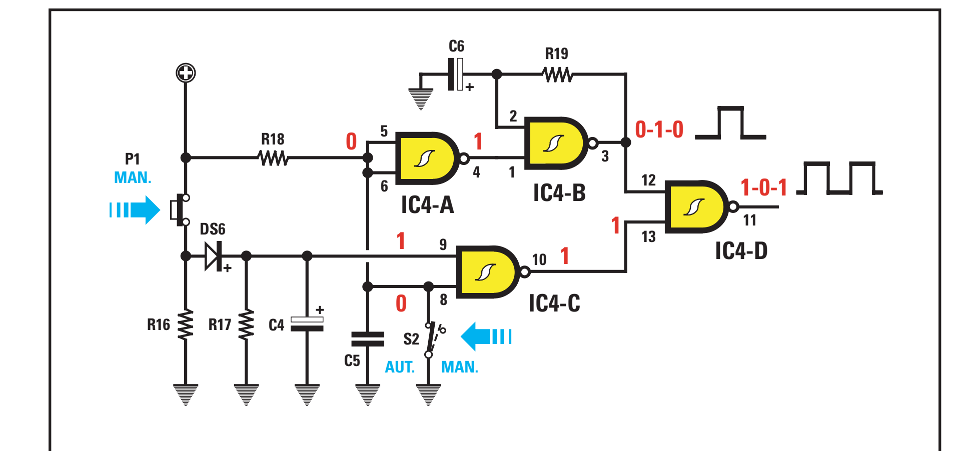


Figure 640 : Avec l'inverseur S2 fermé, la fonction du bouton P1 sera annulée et, donc, même si vous appuyez dessus, vous ne réussirez pas à modifier les chiffres qui apparaissent de façon automatique sur les afficheurs.

Cette fréquence, on la retrouvera sur la broche de sortie 11 et puisque cette dernière est reliée à la broche 9 du premier compteur, elle commencera à compter 3 impulsions par seconde.

Donc, avec l'interrupteur S2 fermé, on verra défiler tous les chiffres de 0 à 99 sur les afficheurs, après quoi le compteur commencera à nouveau à 0 pour arriver à 99 et ainsi de suite, à l'infini.

Note : Tous ces changements de niveaux logiques, c'est-à-dire 0-0 = 1, 1-1 = 0 et 1-0 = 1, au début, créeront un peu de confusion.

Malheureusement, la première fois que l'on affronte un problème, quel qu'il soit, tout semble difficile, mais on s'aperçoit ensuite, en l'analysant, qu'en réalité il est beaucoup plus simple que ce que l'on pouvait croire.

Par exemple, sur les bancs de l'école, combien parmi vous se sont dits, en regardant les tables de multiplication, qu'ils ne réussiraient jamais à se souvenir par cœur de tous ces nombres !

Mais, à force de les répéter, vous avez finalement parfaitement mémorisé que 3 x 3 font 9, que 5 x 5 font 25 et que 6 x 8 font… 48 !

Il en va de même pour la table de vérité des portes logiques.

C'est d'ailleurs pour vous aider à résoudre le problème des niveaux logiques que nous vous avons conseillé, dans la leçon 25, de réaliser la table de vérité électronique LX.5022 (ELM 25, page 86 et suivantes).

Quand vous vous retrouverez devant le schéma d'un circuit numérique utilisant des portes NAND, NOR, AND, INVERTER, etc., tâchez de l'avoir à portée de main pour que, lorsque vous trouverez la condition 1-0, ou bien 0-0, sur les entrées d'une porte, vous puissiez effectuer cette même combinaison sur le montage LX.5022 et, ainsi,

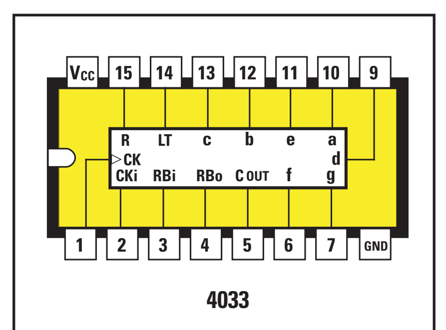


Figure 641 : Il existe des circuits intégrés qui contiennent un compteur ainsi qu'un décodeur pour piloter un afficheur. Sur ce dessin, le brochage du circuit intégré 4033, vu de dessus, que nous avons utilisé dans le schéma de la figure 642.

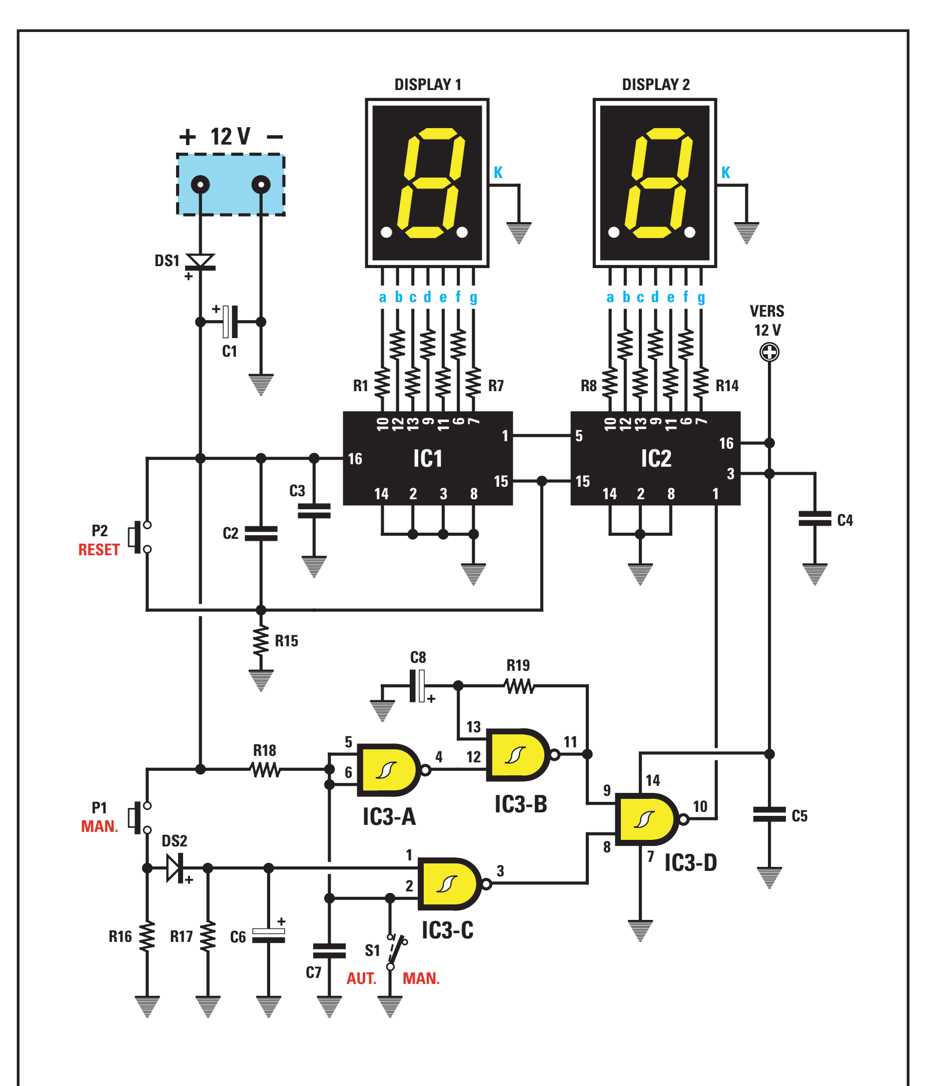
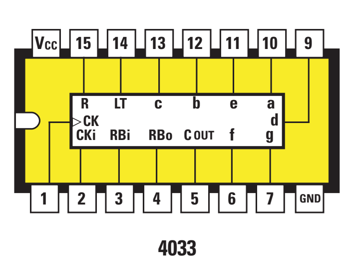
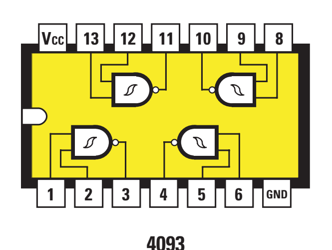


Figure 642 : Vous pourrez réaliser, avec seulement deux circuits intégrés 4033, un compteur à 2 chiffres très semblable à celui de la figure 633. Les broches de RESET (15) de ces deux circuits intégrés seront maintenues au niveau logique 0 par la résistance R15 reliée à masse (pull down). Pour ramener le comptage à 0, il suffira de porter les deux broches 15 à un niveau logique 1. Pour cela, il vous suffira d'appuyer sur le bouton-poussoir P2.





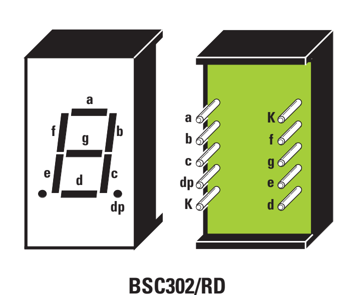


Figure 643 : Brochage des deux circuits intégrés 4033 et 4093 utilisés dans notre montage de la figure 642, vu du dessus. Sur la droite, le brochage des segments a, b, c, d, d, f et g de l'afficheur. La broche "dp" correspond au point décimal, tandis que la broche K correspond à celle de la masse.

savoir immédiatement quel niveau logique se trouve sur la sortie de la porte.

Les décodeur-compteurs

Comme, en électronique moderne, on essaie toujours de réduire le nombre des composants, au minimum, on trouve sur le marché des circuits intégrés munis de décodeur et de compteur (voir figure 641).

Si on observe un décodeur-compteur 4033 (voir figure 641), on remarquera qu'il est également muni des broches a, b, c, d, e, f et g qui servent à alimenter les segments des afficheurs, mais pas des broches marquées des lettres A, B, C et D, qui sont ici remplacées par d'autres broches référencées :

Vcc : la broche 16, reliée à la tension positive d'alimentation.

GND : la broche 8, reliée à masse, c'est-à-dire à la tension négative d'alimentation.

CK (Clock) : on applique, sur la broche 1, des impulsions à compter. Précisons que cette broche enregistre uniquement les fronts montants, et pas les fronts descendants.

CKi (Clock inhibit) : la broche 2 est reliée à masse et cette condition est nécessaire pour qu'elle puisse compter les impulsions qui arrivent sur la broche 1.

R (RESET) : la broche 15 doit être reliée à masse. En appliquant, sur cette broche, une impulsion au niveau logique 1, le nombre qui apparaît sur l'afficheur sera ramené à 0.

LT (Lamp Test) : la broche 14 est reliée à masse. Si on la relie au positif d'alimentation, les 7 segments de l'afficheur s'allumeront simultanément. Cette broche, qui sert uniquement à contrôler qu'il n'y a pas de segment grillé sur l'afficheur, n'est presque jamais utilisée.

RBi (Ripple Blanking in) : la broche 3 sert à faire apparaître ou bien à exclure le chiffre 0. Si on la relie au positif d'alimentation, le chiffre 0 apparaît, tandis que si on la relie à la masse, il n'apparaît pas. Sur un compteur à 2 chiffres, seul le 0 de droite reste toujours allumé tandis que celui de gauche s'éteint, afin d'éviter de voir apparaître 00, 01, 02, 03, etc.

RBo (Ripple Blanking out) : la broche 4 est utilisée uniquement dans les compteurs à 3 chiffres pour éteindre les zéros superflus placés à gauche, de façon à ne pas voir s'afficher 000, 001, 002, 011, 012, etc., mais seulement les chiffres significatifs 1, 2, 3, 11, 12, etc.

C OUT (Carry out) : la broche 5, au 5e comptage, passe de la condition logique 1 à la condition logique 0 pour revenir ensuite, au 10e, à la condition logique 1. Cette dernière, appliquée à la broche CK du second compteur de gauche référencé IC1, le fait augmenter d'un chiffre.

Le schéma électrique d'un compteur à 2 chiffres

Ceci étant dit, nous pouvons passer à l'étude du schéma électrique d'un compteur à 2 chiffres (voir figure 642), qui utilise deux circuits intégrés 4033.

Nous savons déjà que les quatre NAND référencées IC3/A, IC3/B, IC3/C et IC3/D reliés à la broche d'entrée 1 du premier compteur IC2, servent à faire avancer le comptage en mode manuel en appuyant sur le bouton P1, ou bien en mode automatique en fermant l'interrupteur S1.

Lorsque l'afficheur relié au compteur IC2 de droite aura atteint le chiffre 9 et qu'à la dixième impulsion, il sera retourné au chiffre 0, on trouvera alors sur la broche 5 du Carry out de IC2 une condition logique 1 qui atteindra la broche 1 du compteur de gauche référencé IC1 et fera apparaître sur les deux afficheurs le nombre 10, puis 11, 12, etc.

Une fois atteint le nombre 19, lorsque l'afficheur de droite passera du chiffre 9 au chiffre 0, on trouvera alors sur la broche du Carry out un autre niveau logique 1 qui fera avancer d'une unité l'afficheur de gauche et fera apparaître 20, 21, 22, etc., puis 30 et encore 40, 50, etc. jusqu'à 99, pour terminer par 00 avant de reprendre le comptage à partir de 1.

Ce circuit est muni d'un second bouton référencé P2 et indiqué "RESET".

En appuyant sur ce bouton, on envoie une impulsion positive sur les broches 15 des deux compteurs IC1 et IC2, qui effacera les chiffres visualisés sur les afficheurs.

Si, une fois atteint n'importe quel nombre, 18, 35 ou 71, etc., vous voulez faire repartir le comptage à 0, il vous suffira d'appuyer sur le bouton P2 et de le relâcher immédiatement.

Le seul inconvénient que présente ce compteur à 2 chiffres par rapport au précédent, reproduit sur la figure 633, c'est qu'on ne peut pas le programmer de façon à ce qu'il compte jusqu'à un maximum de 20, 30, 60, etc.

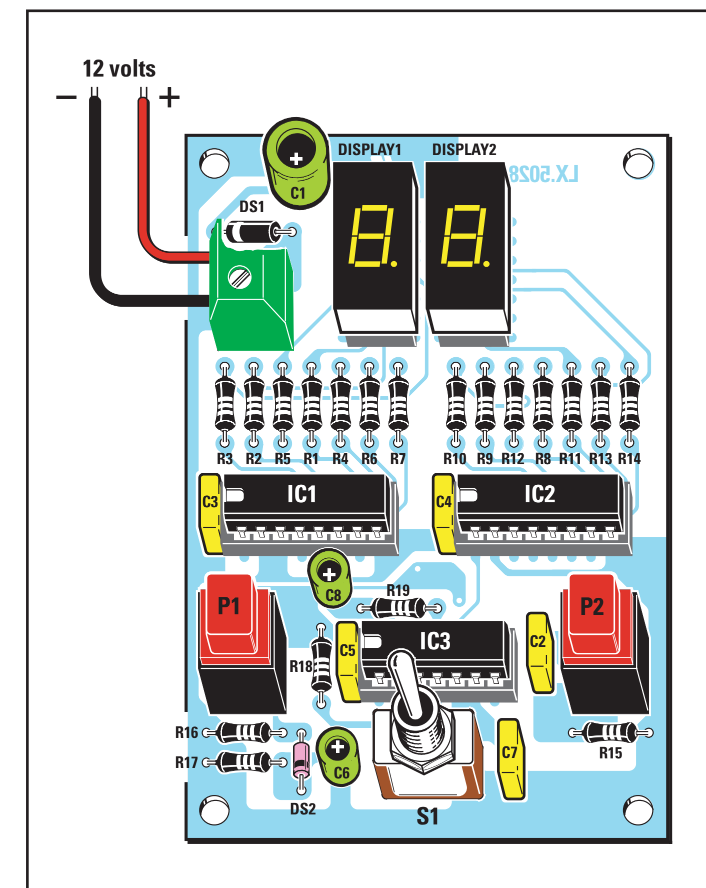


Figure 644a : Schéma d'implantation des composants du compteur à 2 chiffres avec décodeur-compteur LX.5028. Dans ce circuit aussi, si vous déplacez le levier de l'inverseur S1 vers la droite, vous devrez appuyer sur le poussoir P1 pour faire avancer les chiffres, tandis que si vous le déplacez vers la gauche, les chiffres avanceront de façon automatique. En appuyant sur le poussoir P2, vous effacerez les chiffres qui apparaissent sur les deux afficheurs.

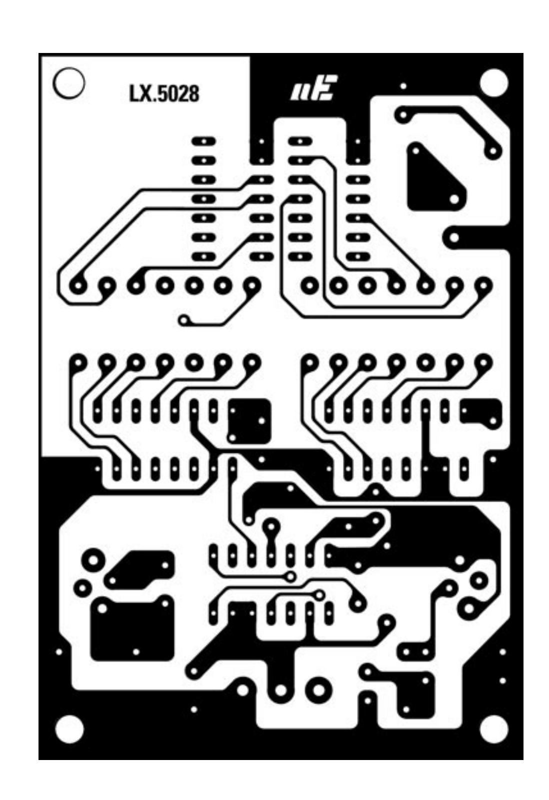


Figure 644b : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté soudure du compteur à 2 chiffres avec décodeur-compteur LX.5028 (voir texte).

Liste des composants LX.5028

R1 - R14	=	680 Ω
R15	=	100 kΩ
R16	=	4,7 kΩ
R17	=	10 kΩ
R18	=	10 kΩ
R19	=	330 kΩ
C1	=	100 µF électrolytique
C2	=	100 nF polyester
C3	=	100 nF polyester
C4	=	100 nF polyester
C5	=	100 nF polyester
C6	=	1 µF électrolytique
C7	=	100 nF polyester
C8	=	1 µF électrolytique
DS1	=	Diode 1N4007
DS2	=	Diode 1N4150
DISPLAY 1	=	Afficheur cathode commune
DISPLAY 2	=	Afficheur cathode commune
IC1	=	Intégré CMOS 4033
IC2	=	Intégré CMOS 4033
IC3	=	Intégré CMOS 4093
S1	=	Interrupteur
P1	=	Poussoir
P2	=	Poussoir

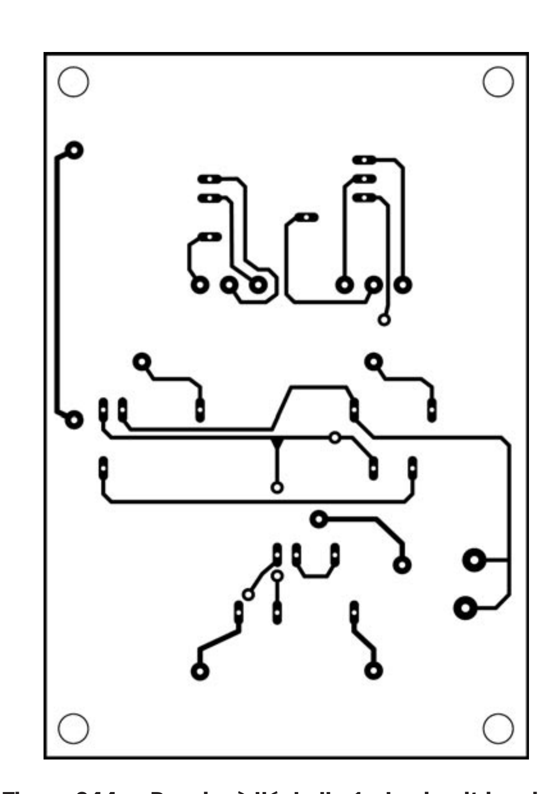


Figure 644c : Dessin, à l'échelle 1, du circuit imprimé côté composants du compteur à 2 chiffres avec décodeur-compteur LX.5028 (voir texte). N'oubliez pas de réaliser toutes les liaisons entre les deux faces.

La réalisation pratique du compteur LX.5027

Pour réaliser ce compteur à 2 chiffres, vous devez d'abord graver ou vous procurer le circuit imprimé LX.5027 et réunir tous les composants visibles sur la figure 634.

Le circuit professionnel est un double face à trous métallisés. Si vous réalisez vous-même votre circuit, n'oubliez pas de relier entre-elles toutes les pastilles en vis à vis sur les deux faces.

Pour cela, vous devrez souder les composants des deux côtés ou souder un petit morceau de fil (un via) faisant office de métallisation.

Vous pouvez commencer le montage en insérant dans le circuit imprimé les deux supports pour les afficheurs ainsi que les quatre supports des circuits intégrés IC1, IC2, IC3 et IC4.

Les broches de ces supports doivent être soigneusement soudées sur les pistes en cuivre.

En fait, le secret de la réussite du fonctionnement immédiat de n'importe quel montage électronique, c'est d'effectuer des soudures parfaites.

Si vous avez des doutes sur la qualité de vos soudures, revoyez la leçon numéro 5 (ELM 5, page 80 et suivantes) qui traite des techniques de soudage.

Une fois cette opération terminée, mettez en place le dip-switch référencé S1, en orientant la partie de son corps sur laquelle figure l'inscription "on" comme indiqué sur la figure 634, c'est-à-dire en direction de IC3 et IC4.

Poursuivez le montage en insérant toutes les résistances, en vérifiant bien à chaque fois leur valeur ohmique en observant les couleurs qui se trouvent sur leur corps, puis la diode plastique DS1, en orientant sa bague vers la gauche, comme sur la figure 634.

Pour finir, insérez les diodes DS2, DS3, DS4, DS5 et DS6, en orientant leurs bagues vers le haut.

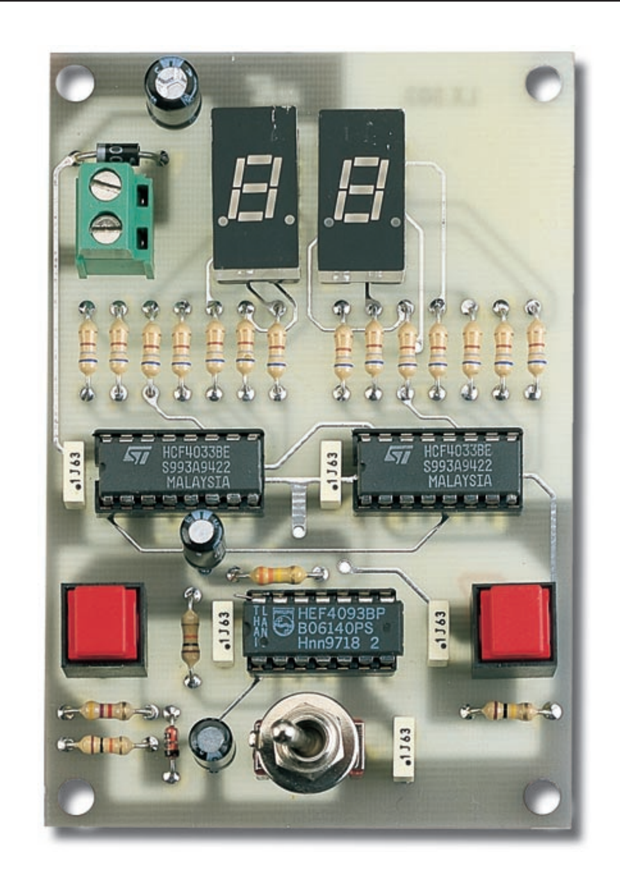


Figure 645 : Voici comment se présente le compteur LX.5028, une fois le montage terminé. Comme il s'agit d'un prototype, le circuit imprimé n'est pas sérigraphié. Après avoir monté les platines d'expérimentation que nous vous avons présentées dans cette leçon, vous vous apercevrez que les explications concernant les changements des niveaux logiques 0 et 1 que nous vous avons fournies, sont beaucoup plus compréhensibles. En effet, c'est seulement en joignant la pratique à la théorie que les choses les plus complexes peuvent devenir simples.

Mettez en place les condensateurs polyester, puis les condensateurs électrolytiques, en respectant la polarité de leurs broches.

Pour terminer le montage, insérez le bornier à deux pôles qui servira à faire entrer les 12 volts d'alimentation, puis l'interrupteur S2 qui permet d'obtenir la fonction "Manuel" ou "Automatique", ainsi que le bouton-poussoir P1.

Il ne vous reste alors plus qu'à insérer les afficheurs dans leurs supports respectifs en orientant le point décimal de leur corps vers le bas, puis les circuits intégrés en dirigeant leur repère-détrompeur en forme de U vers la gauche, comme sur la figure 634.

Avant de mettre le compteur sous tension, vous devez déplacer les deux inverseurs de S1, qui ont un poids de 20 et 80, vers le haut, de façon à pouvoir compter jusqu'à 99.

Si vous déplacez vers le haut les inverseurs avec un poids différent, vous atteindrez un nombre inférieur à 99.

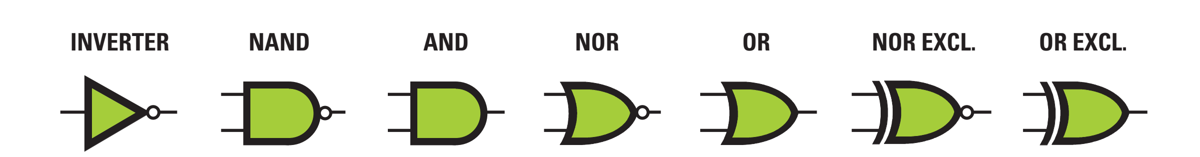


Figure 646 : Sur ce dessin, nous reportons les symboles graphiques de toutes les portes numériques tels que vous les trouverez sur les schémas électriques. Comme vous pouvez le voir sur la table de vérité de la figure 647, en appliquant une combinaison différente de 1-0 sur les entrées de chaque porte, vous obtiendrez un niveau logique différent sur leurs sorties.

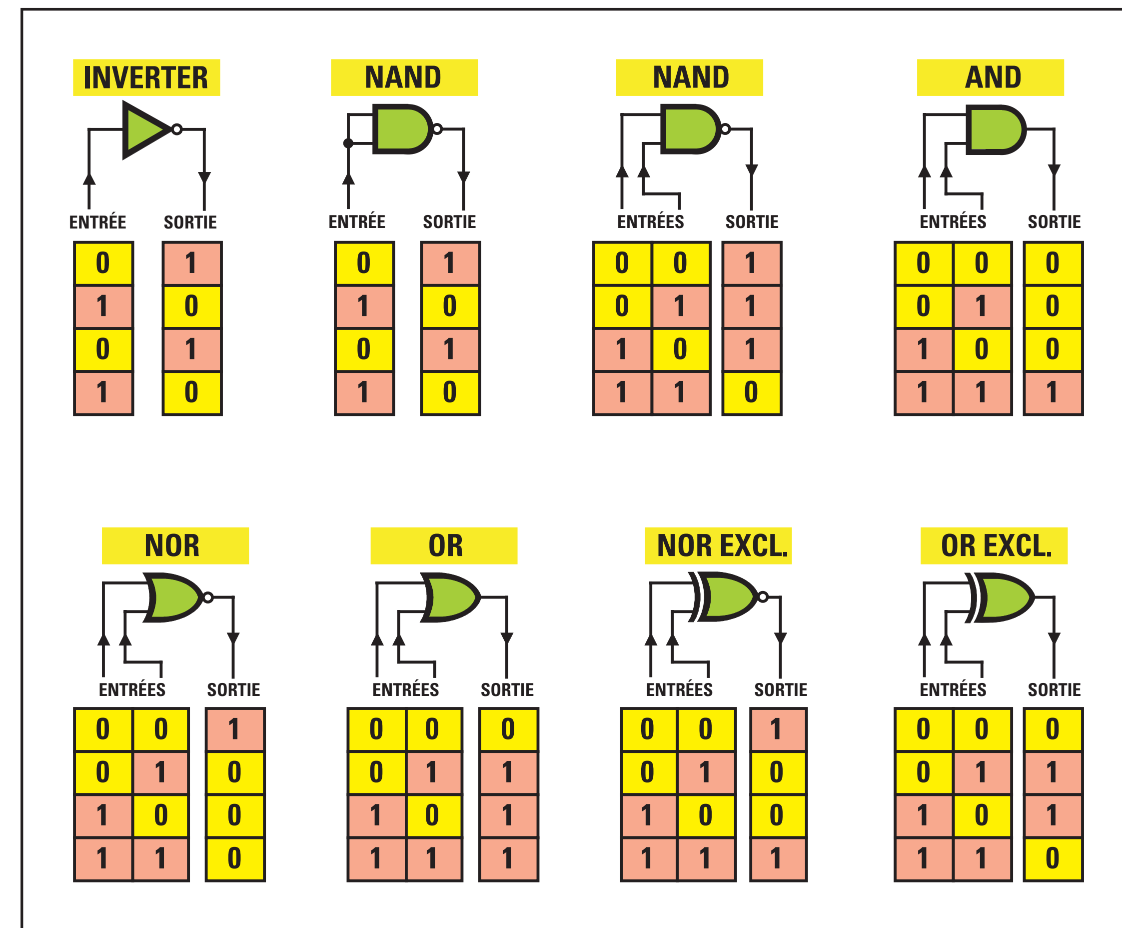


Figure 647 : Pour connaître le niveau logique présent sur la sortie des différentes portes, en modifiant les niveaux logiques sur leurs entrées, vous pourrez consulter cette table de vérité. Le chiffre 1 signifie que sur la broche se trouve une tension d'alimentation "positive" et le chiffre 0 signifie que sur cette broche, il n'y a aucune tension car elle est court-circuitée à "masse" (voir figure 570 de la leçon 24 - ELM 24, page 80 et suivantes).

Si vous n'en déplacez aucun, le compteur ne pourra pas effectuer de comptage.

La réalisation pratique du compteur LX.5028

Pour réaliser ce compteur à 2 chiffres, vous devez d'abord graver ou vous procurer le circuit imprimé LX.5028 et réunir tous les composants visibles sur la figure 644.

Le circuit professionnel est un double face à trous métallisés.

Si vous réalisez vous-même votre circuit, n'oubliez pas de relier entre-elles toutes les pastilles en vis à vis sur les deux faces.

Pour cela, vous devrez souder les composants des deux côtés ou souder un petit morceau de fil (un via) faisant office de métallisation.

Vous pouvez commencer le montage en insérant dans le circuit imprimé les deux supports pour les afficheurs, ainsi que les trois supports des circuits intégrés IC1, IC2 et IC3.

Après avoir soudé toutes les broches sur le circuit imprimé, poursuivez le montage en insérant toutes les résistances, puis la diode plastique DS1, en orientant sa bague vers la gauche.

Pour finir, insérez la diode DS2, en orientant sa bague vers le bas. En cas de doute, regardez la figure 644.

Après ces composants, vous pouvez insérer les condensateurs polyester, puis les trois condensateurs électrolytiques, en respectant la polarité de leurs broches.

Pour terminer le montage, insérez le bornier à deux pôles qui servira à faire entrer les 12 volts d'alimentation, puis l'interrupteur S1 qui permet d'obtenir la fonction "Manuel" ou "Automatique", ainsi que les deux boutons-poussoir P1 et P2.

Il ne vous reste alors plus qu'à insérer les afficheurs dans leurs supports respectifs en orientant le point décimal de leur corps vers le bas, puis les trois circuits intégrés en dirigeant leur repère-détrompeur en forme de U vers la gauche, comme sur la figure 644.

Dès que vous alimenterez le circuit avec les 12 volts requis pour son alimentation, vous verrez apparaître sur les afficheurs un chiffre que vous pourrez faire avancer en appuyant sur le bouton P1 ou faire s'annuler en appuyant sur P2.

En déplaçant l'inverseur S1 du côté opposé, vous verrez avancer les chiffres de façon automatique de 0 jusqu'à 99.

◆ *G. M.*

Coût de la réalisation*

Tous les composants, visibles sur la figure 628a (ELM 27), nécessaires à la réalisation du compteur à 1 chiffre LX.5026, y compris le circuit imprimé : 88 F. Le circuit imprimé LX.5026 seul : 44 F.

Tous les composants, visibles sur la figure 634a, nécessaires à la réalisation du compteur à 2 chiffre LX.5027, y compris le circuit imprimé : 155 F. Le circuit imprimé LX.5027 seul : 45 F.

Tous les composants, visibles sur la figure 644a, nécessaires à la réalisation du compteur à 2 chiffres avec décodeur-compteur LX.5028, y compris le circuit imprimé : 140 F. Le circuit imprimé LX.5028 seul : 46 F.

* Les coûts sont indicatifs et n'ont pour but que de donner une échelle de valeur au lecteur.



NOTES